

論文

コンクリート床版打設時に用いる養生剤が床版防水の性能に及ぼす影響

樋口 勇輝*, 馬場 弘毅*, 黄木 秀実*

*ニチレキ株式会社 技術研究所 (〒329-0412 栃木県下野市柴 272)

場所打ちコンクリート床版では、表面の品質を確保するために養生剤を使用することがある。このとき、床版防水の施工において養生剤の影響と考えられる接着不良が発生する事例があった。そこで、様々な養生剤を用いて作製したコンクリート平板に防水層を施工したときの影響を確認した。その結果、養生剤の種類によってはプライマーの速乾性および接着性を低下させること、表面を研掃することで影響を抑制できることを検証した。

キーワード：コンクリート床版，養生剤，床版防水，プライマー

1. はじめに

道路橋コンクリート床版は、その作製方法によってプレキャストコンクリート床版と場所打ちコンクリート床版に大別される。このうち、場所打ちコンクリート床版では、表面仕上げ時の作業性を向上させる仕上げ補助剤や、急激な水分逸散を抑制し品質を確保する養生剤などが使用される¹⁾。また、床版防水を施工するまでの存置期間が長い場合、雨水の浸入や乾燥収縮による劣化を抑制する目的で、コンクリート表面に浸透性材料を塗布する場合もある。

これらの材料（以下、総称して養生剤とする）はコンクリート床版表面の品質確保が期待できる一方で、仕上げ材等を施工する場合には、付着性を阻害する可能性があることから、残存成分の除去がカタログに明記されている。コンクリート床版上に施工する床版防水も例外ではなく、養生剤と床版防水層との付着性を事前に確認し、基本的に除去する旨の記述が各種要領に記載されている²⁾³⁾。特に NEXCO においては、種類によらず養生剤を確実に除去することが規定されている⁴⁾。

床版防水層は複数の層から構成されており、コンクリート床版に直接塗布するプライマー層が養生剤の影響を最も受けていると考えられる。したがって、養生剤の影響を詳しく評価するためにはプライマーに着目した検証試験が必要である。しかし、既往の研究および報告では、養生剤が床版防水に及ぼす影響は、主として防水材との接着性についてのみ評価されてきた⁵⁾⁶⁾。つまり、プライマーの系統や種類と、養生剤の及ぼす影響との関係は未だ明らかではない。また、評価項目としては、接着性のみが対象であり、施工性を評価する上で重要となる乾燥の遅延を評価した事例が無かった。

そこで本検討では、床版防水のプライマーの種類と養

生剤との組合せに着目した評価を実施した。また、接着性の評価に加えて、プライマーを塗布したときの乾燥時間を測定することで施工性も評価した。

さらに、養生剤が床版防水に影響を及ぼす要因を検証する実験を行い、そのメカニズムについて考察した。

2. 実験概要

2.1 使用材料

(1) コンクリート

コンクリートには、骨材やセメント・水・減水剤などが予め計量されたパック詰めタイプの超速硬性コンクリート（製品名：ジェットパック、住友大阪セメント株式会社）を使用した。3 パックに包装された材料を表-1 に示す配合比に従って混合した。本来、コンクリートの配合やセメントの種類による影響が想定されることから、実際の床版に使用されるコンクリートを用いることが望ましい。本検討ではこれらの影響の評価を目的とせず、養生剤とプライマーの組合せに着目したことから、本コンクリートを使用した。

(2) 養生剤

使用実績等を考慮して評価対象に選定した 9 種の養生剤を表-2 に示す。

表-1 コンクリートパックの配合比

構成材料		配合比 (kg)
パック-1	セメント	27
	細骨材	
パック-2	粗骨材	28
パック-3	水	3.8
	減水剤	

表-2 評価した養生剤の一覧

記号	種類	主成分	標準散布量	使用方法
A	養生剤 又は 仕上げ補助剤	パラフィンワックス	100~150 ml/m ²	表面仕上げ後に散布
B	養生剤 兼 仕上げ補助剤	パラフィンワックス	100~200 ml/m ²	表面仕上げ前に散布
C	養生剤 兼 仕上げ補助剤	パラフィンワックス	100 g/m ²	表面仕上げ前に散布
D	養生剤	パラフィンワックス	100~150 g/m ²	表面仕上げ後に散布
E	養生剤	アクリル共重合体	100 g/m ²	表面仕上げ後に散布
F	養生剤	エチレン酢酸ビニル	300~400 ml/m ²	表面仕上げ後に2倍希釈で散布
G	養生剤 (浸透型)	ケイ酸ナトリウム	100~150 ml/m ²	表面仕上げ後に2,3倍希釈で散布
H	収縮低減剤	アルキレンオキサイド付加物	100~150 g/m ²	硬化後に表面塗布
I	吸水防止材	シラン・シロキサン	200 g/m ²	硬化後に表面塗布

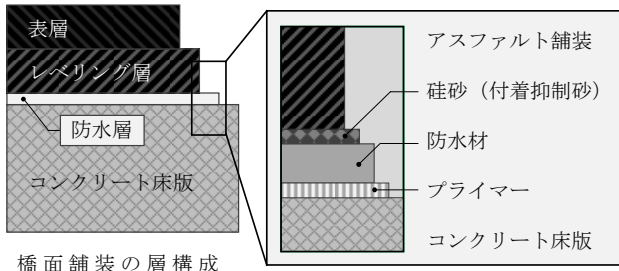


図-1 標準的な断面構成



写真-1,2 コンクリート打設状況

表-3 プライマー種類

種類	溶剤種類	標準塗布量
溶剤型 アスファルト系	トルエン	0.25 L/m ²
溶剤型 エラストマー系①	トルエン	0.20 L/m ²
溶剤型 エラストマー系②	酢酸エチル, 酢酸ブチル	0.25 L/m ²
反応樹脂型 (MMA)	(無溶剤)	0.35 kg/m ²

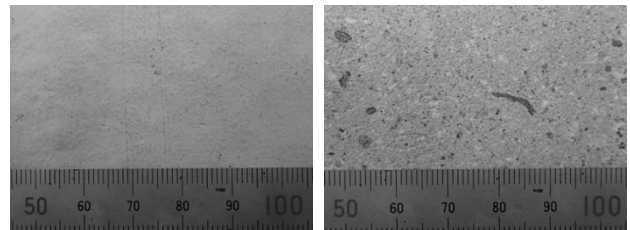


写真-3 研掃前の表面

写真-4 研掃後の表面

本検討では、床版防水を施工するコンクリート床版面にあらかじめ塗布されている可能性のある材料を評価対象とした。そのため、養生剤に該当しない収縮低減剤や吸水防止材などの材料も水準に加えた。

(3) 防水層

コンクリート床版には、さまざまな防水層が適用される。本検討では、代表的な防水層としてアスファルト加熱型塗膜系防水工法を適用した。標準的な断面構成を図-1に示す。この防水層は、道路橋床版防水便覧²⁾の規格に準拠するものである。

また、プライマーは表-3に示す4種類を評価した。最も適用事例の多い溶剤型からアスファルト系1種、エラストマー系2種を評価した。なお、エラストマー系は溶剤種類が異なる2種を選定し、この影響も評価項目とした。さらに、反応樹脂型のプライマーについても比較対象として評価を行った。

2.2 試験方法

(1) 供試体作製

以下の①~⑤の手順で供試体を作製した。

① コンクリートの打設

300×300 mmの鋼製型枠に、高さ50 mmとなるように打設した。規定された手順で混合したコンクリートを型枠内に打ち込み、バイブレータで締固めた後に金ゴテで表面仕上げを行った(写真-1,2)。

② 養生剤の散布

打設の際、カタログ等の使用規定に従って養生剤を散布した。散布は噴霧器を使用して、均一になるように行った。表面仕上げ前の散布が規定されている場合、散布後に金ゴテで表面仕上げを行った。

③ 表面研掃

打設後に約72時間養生したのち、コンクリート平板の表面を研掃した。研掃には、ダイヤモンド研削機による床版研掃を想定して、ダイヤモンド砥石を装着したハンドグラインダーを用いた。研掃前後の表面状況は写真-3,4に示す通りであり、表面の脆弱層を除去し、表面に細骨材が露出する程度を目安とした。

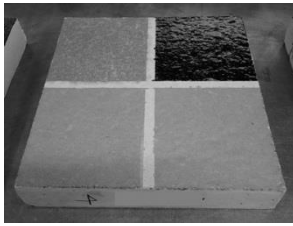


写真-5 防水材塗布前

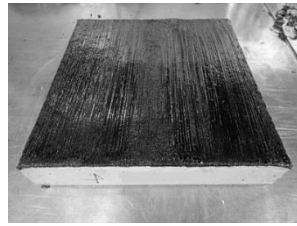


写真-6 防水材塗布後

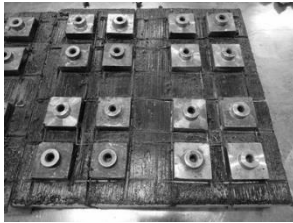


写真-7 試験前の供試体

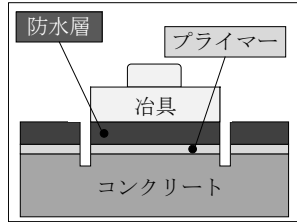


図-2 供試体断面

表-4 試験条件

項目	条件
試験機	建研式引張接着試験機
接着面積	1,600 mm ² (40×40 mm)
載荷速度	毎秒 0.1 N/mm ²
試験温度	23 °C
試験数	N=4

④ プライマー塗布

表面研掃したコンクリート平板を 23 °C に保たれた環境室で約 24 時間静置したのち、同環境にてプライマーを標準量塗布した。なお、写真-5 に示すように、300 × 300 mm のコンクリート平板を区割りして、平板 1 枚につき 4 種のプライマーを塗布した。

⑤ 防水材の塗布

プライマーの塗布から 24 時間後、防水材を塗布した。240 °C に加熱溶融させた防水材を標準量 (1.2 kg/m²) とするよう塗布した。塗布後の供試体状況を写真-6 に示す。

(2) プライマーの乾燥時間測定

(1)④に示したプライマー塗布の際に、プライマーの乾燥時間を測定した。乾燥状態の評価は JIS-K5600 の規定に準拠した。通常、プライマーの乾燥状態は指触乾燥 (塗面の中央に指先で軽く触れて、指先が汚れない状態) にて評価する。しかし、本検討の目的である養生剤の影響の評価は、塗膜内部までの乾燥を対象とする必要があり、指触乾燥による評価は不適であると考えた。そこで、同 JIS に規定された硬化乾燥の定義を参考に「強くこすっても擦り跡が付かず、翌日まで放置しても変化しない状態」に至るまでの時間を乾燥時間と定義した。

(3) 引張接着試験

建研式引張接着試験機により引張接着試験を実施した。防水層上に 40×40 mm の鋼製治具を接着剤により貼り付け、治具の周囲にハンドグラインダーを用いてコンクリート平板に達する切込みを入れた。その後、23 °C に保たれた環境室において、供試体および試験機を 6 時間以上静置してから試験した。試験時の供試体状況を写真-7、供試体断面を図-2、試験条件を表-4 に示す。

3. 実験結果

3.1 乾燥時間

プライマーの乾燥時間の一覧を図-3 に示す。乾燥は 24 時間後 (1440 分) まで測定したが、この図では 180 分までの結果を示した。

(1) プライマー種類と乾燥時間

養生剤を使用していない条件と比較して、乾燥時間が大幅に遅延した組合せを確認した。溶剤型プライマーには、それぞれに乾燥時間を 10 倍以上に遅延させる養生剤との組合せが存在した。一方で、反応樹脂型プライマーの乾燥時間は殆ど一定値を示したことから、乾燥を遅延させた要因のひとつに溶剤の影響が考えられた。

(2) 養生剤の種類と乾燥時間

図-3 の養生剤 A, B, C, D はすべてパラフィンワックスを主成分とする養生剤であり、乾燥時間の変化に共通した傾向は見られなかった。このことから、養生剤がプライマーの乾燥時間に及ぼす影響は、材料の系統や主成分の分類のみに依らず、材料毎の組合せによって決定されることが示唆された。

(3) 研掃の有無と乾燥時間

コンクリート平板を表面研掃した条件での乾燥時間を図-4 に示す。研掃しなかった結果と比較して、全体的に乾燥時間の遅延が抑制された。つまり、床版防水の施工前にコンクリート表面を研掃することで、乾燥の遅延を抑制できることが検証された。

これは、表面に残存した養生剤の成分を除去した効果であると考えられる。ただし、養生剤 A, D のように、研掃しても乾燥時間が通常の 3 倍以上となる組合せもあることから、研掃によって養生剤の影響を完全に無くすことは出来ないことが示された。

3.2 引張接着強度

引張接着試験の結果一覧を図-5 に示す。

(1) プライマー種類と引張接着強度

一部の組合せを除き、養生剤を使用していない条件よりも接着強度が低下した。乾燥時間とは異なり、溶剤型

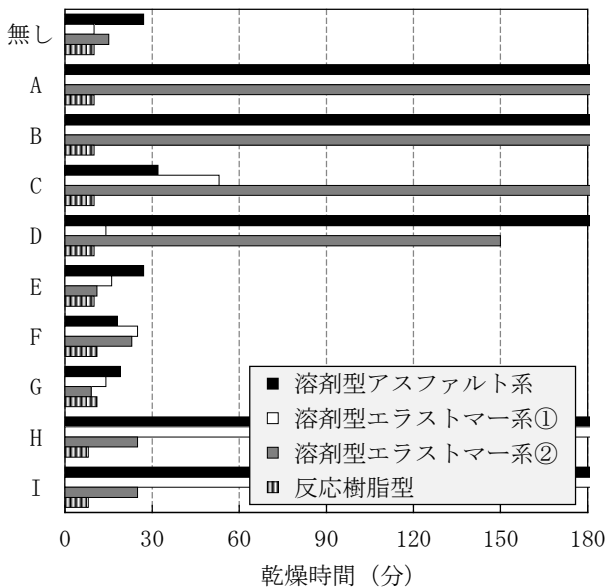


図-3 各プライマーの乾燥時間

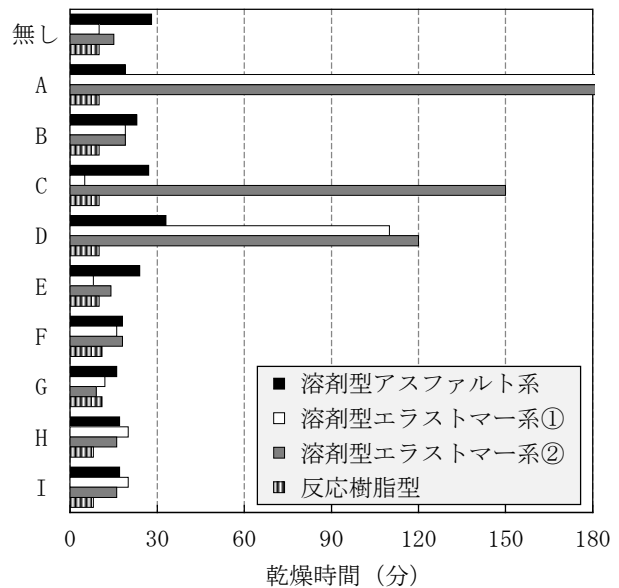


図-4 各プライマーの乾燥時間 (表面研掃あり)

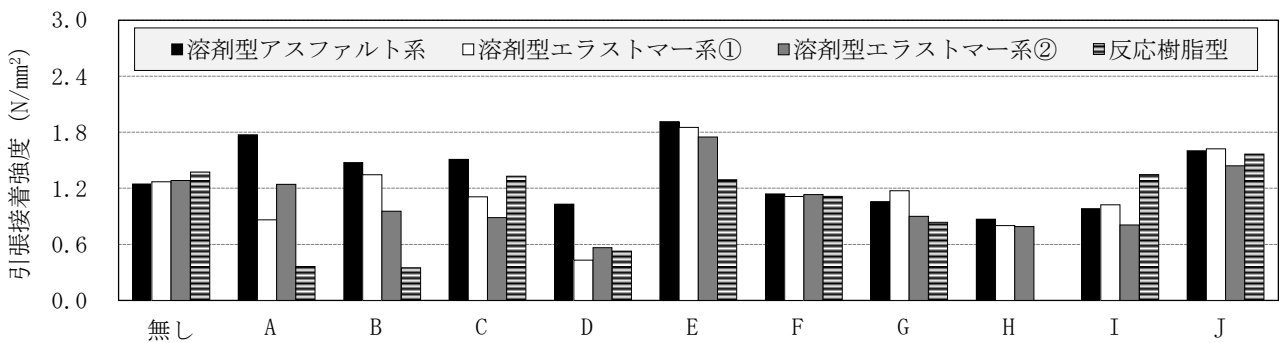


図-5 各プライマーの引張接着強度

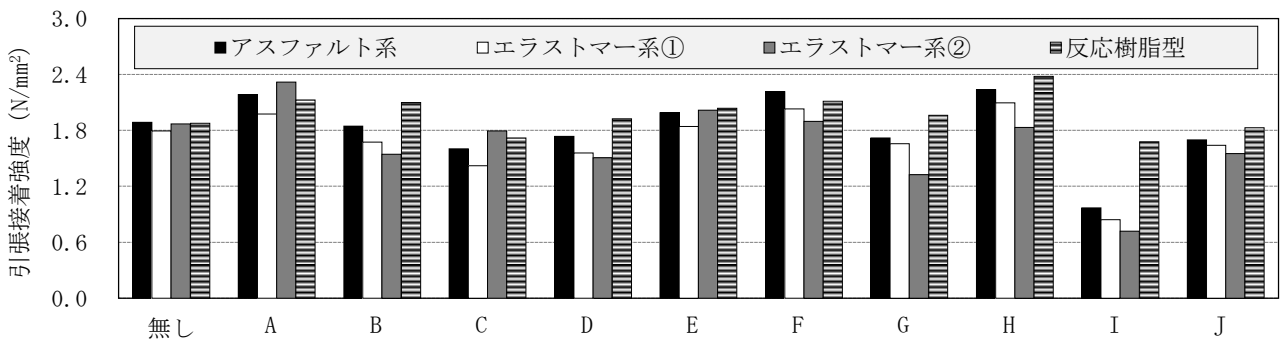


図-6 各プライマーの引張接着強度 (表面研掃あり)

だけでなく反応樹脂型プライマーにおいても強度低下が確認された。このことから、乾燥時間の遅延と接着強度の低下との間に相関が無いことが分かった。

なお、試験後の破壊状況は条件毎に様々であり、乾燥の遅延した条件でプライマーまたはコンクリート表面の破壊が増える等の明確な傾向は認められなかった。破壊状況と接着強度との相関もプライマーおよび養生剤の材料の組合せ毎に異なったことから、破壊状況は、材料の相性やそれぞれの強度、コンクリート表面の仕上りなど複数の因子から影響されたと考えられる。

(2) 養生剤の種類と引張接着強度

パラフィンワックスを主成分とする養生剤 A, B, C, D が接着強度に及ぼす影響はそれぞれ異なる傾向を示した。よって、乾燥時間と同様に、材料の主成分によって接着強度への影響を計ることはできないと判断された。

(3) 研掃の有無と引張接着強度

コンクリート平板を表面研掃した条件での接着強度を図-6 に示す。表面研掃することで接着強度は全体的に向上した。養生剤を使用していない水準も接着強度が

表-5 養生剤 A：用途別の使用方法

	養生剤 用途	仕上げ補助剤 用途
使用工程	表面仕上げ後	表面仕上げ前
使用方法	表面散布	散布後に擦り込み
最大散布量	100 ml/m ²	150 ml/m ²

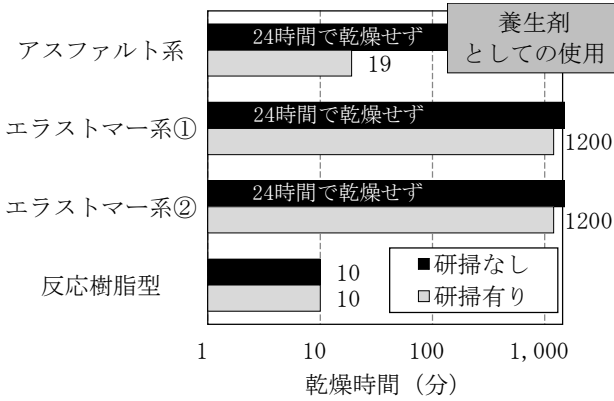


図-7 養生剤（表面散布）での乾燥時間

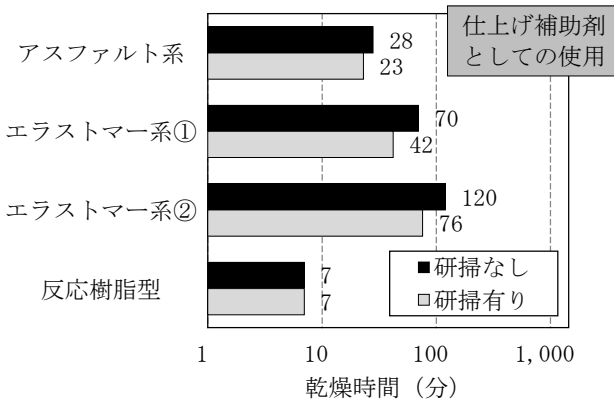


図-8 仕上げ補助剤（擦り込み）での乾燥時間

向上したことから、養生剤の成分の除去だけでなく、コンクリート自体の脆弱層を除去した効果も含まれた結果と考えられた。

3.4 養生剤の使用方法による違い

養生剤 A は、表-5 に示すように用途に応じて異なる使用方法が規定されている。この養生剤を使用して、養生剤の使用方法による影響の違いを検証した。

養生剤用途の乾燥時間を図-7、仕上げ補助剤用途の乾燥時間を図-8 に示す。養生剤用途、つまり表面散布した場合は、表面に残存成分が多いため溶剤型プライマーの乾燥を著しく阻害した。一方で仕上げ補助剤用途、つまり養生剤を擦り込んだ場合は、乾燥の遅延は少ないものの表面研掃の効果が殆ど見られなかった。この現象は、養生剤を擦り込んだことで成分が深く浸透し、表面研掃で除去されなかった結果と推察される。このことから、養生剤による乾燥の阻害は、プライマーの種類だけでなく、

表-6 試験水準

材料	水準
溶媒	トルエン、酢酸エチル酢酸ブチル混合溶剤
養生剤	A, B, E, G, I (比較：養生剤なし)

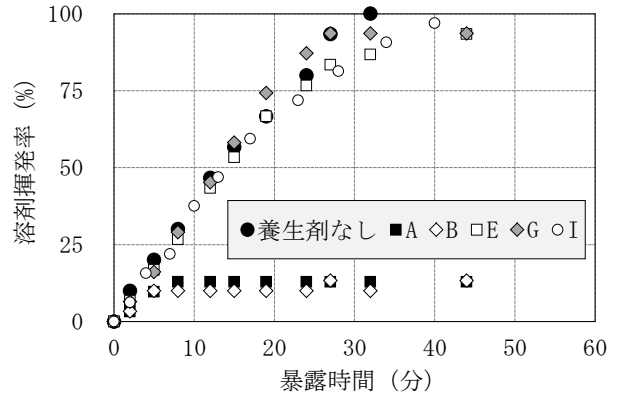


図-9 揮発率の推移（トルエン）

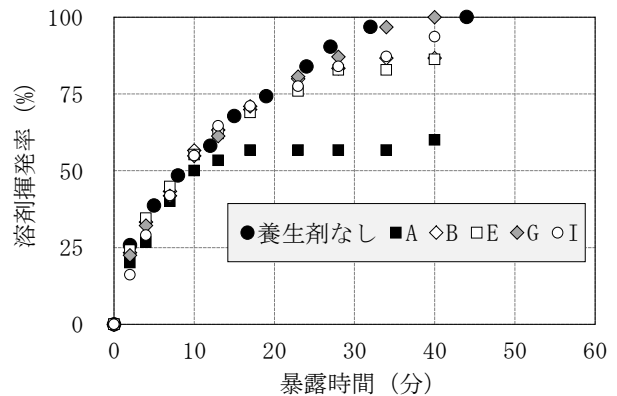


図-10 揮発率の推移（酢酸エチル酢酸ブチル混合溶剤）

使用方法の影響も受けることが検証された。

4. 養生剤の影響を受けるメカニズムに関する考察

3.1(1)で述べたように、溶剤型プライマーが養生剤の影響を受ける要因には、溶剤の影響が考えられる。この仮説を検証すべく、以下の実験を行った。

(1) 実験方法

養生剤 10 g をサンプリングしたφ100 mm の鉄皿を 23 °C に保たれた環境室にて静置し、24 時間での重量の変化が 0.1 g 以下になるまで水分を蒸発させたものを試験体とした。

この試験体に溶剤型プライマーの溶媒を 3.0 g 滴下したのちに 23 °C 環境下にて暴露し、質量の推移から溶剤揮発量の重量分率を算出した。

検討した溶剤および養生剤の水準を表-6 に示す。

表一7 比較結果（トルエン）

養生剤	溶剤揮発率 (%)	溶剤型エラストマー系① 乾燥時間
無し	97	10 分
G	93	14 分
I	87	180 分
E	83	14 分
B	13	20 時間
A	10	24時間で未乾燥

表一8 比較結果（酢酸エチル酢酸ブチル混合溶剤）

養生剤	溶剤揮発率 (%)	溶剤型エラストマー系② 乾燥時間
無し	94	15 分
G	92	9 分
I	86	25 分
B	85	24時間で未乾燥
E	82	11 分
A	57	24時間で未乾燥

(2) 実験結果

トルエンにおける揮発率の推移を図一9 に示す。養生剤 E, G, I はほぼ一定の割合でトルエンが揮発した。この推移は養生剤なしの水準と同等であったことから、これらの養生剤はトルエンの揮発に影響を与えないことを確認できた。一方で、養生剤 A, B は暴露 10 分後から殆ど変化せず、明らかに溶剤の揮発を阻害した。

酢酸エチル酢酸ブチル混合溶剤についても、図一10 に示すように揮発を阻害する養生剤を確認した。

これらの水準では、溶剤の液面に油分の成膜が見られ、養生剤の成分が溶出したと判断できた。

(3) 溶剤の揮発率とプライマーの乾燥時間との関係

暴露後 30 分後の溶剤揮発率を、プライマーの乾燥時間と比較してその関係を検証した。比較する乾燥時間は、トルエンは溶剤型エラストマー系①の数値を、酢酸エチル酢酸ブチル混合溶剤は②の数値を図一3 から引用した。

トルエンでの比較結果を、溶剤揮発率の高い順に並べた一覧を表一7 に示す。特に揮発率が低い養生剤 A, B において、乾燥時間が長くなる傾向が読み取れた。この関係から、養生剤の成分が溶剤の揮発を阻害したことで、プライマーの乾燥を遅延させたことが示唆された。ただし、この傾向は養生剤 E のみ成り立たなかった。

酢酸エチル酢酸ブチル混合溶剤においても、表一8 に示すように揮発率の低い養生剤ほど乾燥時間も長くなった。しかし、トルエンと同様に養生剤 E は傾向に従わず乾燥時間が短くなった。また、養生剤 B は高い揮発率

に反して乾燥に至らないほどの影響を受けた。

以上の結果から、養生剤によるプライマーの乾燥時間の遅延は、溶剤への成分の溶出だけでなく、他の成分の影響も含まれた複合的な現象であると考えられる。

5. まとめ

養生剤を使用したコンクリート平板に防水層を施工した際の影響を確認した結果、以下の知見を得た。

- ① 養生剤の使用により、プライマーの乾燥性の低下や、接着性の低下などの不具合を生じる場合がある。
- ② 養生剤がプライマーに及ぼす影響は、主成分などの系統ではなく、材料の組合せによって決定される。
- ③ コンクリート表面を研掃することで、養生剤の影響を概ね抑制できる。
- ④ 仕上げ補助剤の用途でコンクリートに練り込まれた場合、表面研掃による効果が得られにくい。
- ⑤ プライマーの乾燥遅延の一要因として、養生剤の残存成分の溶出による溶剤揮発の阻害が考えられる。

6. おわりに

養生剤の使用による床版防水の性能低下は、残存成分の確実な除去や、影響を考慮した材料選定で避け得るリスクである。それにも関わらず不具合の事例が散見される現状からは、床版と防水それぞれの工程における知見や情報を共有できていないことが想定される。床版・防水・舗装に携わる技術者がこれまで以上に連携し、全体の最適を図った設計・施工を行うことで、道路橋コンクリート床版の更なる長寿命化は果たされると考えている。

参考文献

- 1) 松井繁之：道路橋床版の長寿命化技術，森北出版，2016。
- 2) 日本道路協会：道路橋床版防水便覧，2007。
- 3) 土木学会鋼構造委員会：道路橋床版防水システムガイドライン，土木学会，2016。
- 4) 東・中・西日本高速道路株式会社：構造物施工管理要領（令和元年7月版），2019。
- 5) 原健悟，岩淵貴久，水牧稔晶，遠藤英一：各種表面含浸材を塗布したコンクリート床版と防水層の接着性状，コンクリート工学年次論文集，Vol.33，No.1，2011。
- 6) 床版アスファルト防水工業会：アスファルト系防水材料の道路橋床版防水施工マニュアル，床版アスファルト防水工業会，2013。

（2020年7月17日受付）