令 8. 東京都土木技術支援センター年報
Annual Report
B.C.,TMG & T.M.P.C.R.I.M. 2026

1. 二層式低騒音舗装の代替え手法検討における アスファルト乳剤散布に関する技術検証

Technical Verification of Asphalt Emulsion Spraying in the Study of Alternative Methods for Dual-layer Low-noise Pavements

（公財）東京都道路整備保全公社道路部土木技術課　細田 修平、粉川 心介

1. はじめに

東京都では、都道における沿道騒音対策の一環として、平成 7 年度より骨材最大粒径 13mm のポーラスアスファルト混合物を用いた低騒音舗装を本格的に導入してきた。その後、更なる騒音低減性能の向上を目指した技術検討が進められ、平成 10 年度からの実道における試験施工・検証を経て、その成果は「今後の道路舗装整備（車道）の進め方－車道舗装体系－」に反映された。これを受け、平成 17 年 3 月には「道路工事設計基準」において基準化が図られ、翌 4 月より環状七号線や環状八号線といった優先的対策道路区間を中心に「二層式低騒音舗装」の展開が開始された。本舗装技術は、今日に至るまで都における道路交通騒音対策の主要な施策として成果を挙げている。

二層式低騒音舗装は、タイヤ・路面騒音の低減に寄与する表層を二層構造としたものであり、上層（骨材最大粒径 5mm、厚さ 2cm）および下層（骨材最大粒径 13mm、厚さ 5cm）で構成 [1]される。施工に際しては、専用のアスファルトフィニッシャである MAP（Multi Asphalt Paver）や DL ペーバ（Dual Layer Paver）を用い、二層を同時に敷き均す「二層同時施工」を標準としている。これらの専用機械は、これまで施工の効率化・合理化、工期短縮などを目的として活用されてきた。

しかしながら、近年、これら専用施工機械の更新時期が到来する中で、新規製造の困難さや修繕部品の枯渇といった維持管理上の懸念が生じている。こうした背景から、将来的な施工体制の維持に備え、専用機械に依存しない代替施工手法の可能性を模索することが重要な課題となっている。

この課題に対し、これまで上層および下層の混合物に関する室内試験を通じて、最適な組合せの抽出を行ってきた。現在は、二層同時施工の代替案として、各層を一層ずつ施工する「各層施工」の技術的妥当性を検証している段階にある。具体的には、実施工を模した供試体による物性試験を実施し、二層同時施工と比較した場合の施工性や品質の評価を進めている。これら一連の検討過程において、層間の確実な接着を目的としてアスファルト乳剤の散布を行っているが、二層式低騒音舗装における層間乳剤の必要性やその効果に関する既往の研究は十分ではない。また、過年度の調査成果によれば、各層施工を採用した場合の施工量は、条件にもよるが二層同時施工の 7 割程度に留まることが確認されている。[2]そのため、施工の合理化を検討する上でも、乳剤散布の妥当性を改めて精査する必要が生じている。

以上の背景を踏まえ、令和 7 年度には、上層および下層の層間におけるアスファルト乳剤の種類や散布量、さらには上層敷き均し時の下層混合物の温度条件が品質に与える影響について比較検討を実施した。本稿は、これらの検討結果を取りまとめたものである。

2. 各層施工の施工手順及び施工時間割（案）

令和 6 年度に検討した二層同時施工と各層施工の施工フロー及び施工時間割（案）は以下に記載する。

二層同時施工と各層施工の施工フローを**図 1** に示す。各層施工の場合、施工手順として表層の舗設回数が増え、上下層間の確実な接着を目的として上下層間での乳剤散布ありで検討した。

二層同時施工と各層施工の場合について、施工業者へのヒアリングに基づき、1 日の施工時間割（案）を作成した。各種条件は、以下のとおりである。

・作業時間：21:00～6:00（夜間施工）
・施工方法:t=12cm の切削オーバレイ（切削打換え）
・施工幅員：4.4m
・施工厚さ：基層 5cm、表層 7cm
・二層同時施工の場合の表層:5cm（下層）2cm（上層）
・各層施工の場合の表層:4cm（下層）3cm（上層）

なお、各層施工では乳剤散布から乳剤が分解するまでの時間を 30 分として、施工時間割（案）を検討した。

二層同時施工と各層施工の施工時間割（案）をそれぞれ**図 2** と**図 3** に示す。

施工時間割を比較した場合、以下のとおりとなる。

・二層同時施工の場合、日当たり施工量は幅員 4.4m ×延長 167m=735m2 となる。
・各層施工の場合、日当たり施工量は幅員 4.4m×延長 115m=506m2 となる。
・各層施工の場合、乳剤散布と表層の舗設回数がそれぞれ 1 回ずつ増えることにより日当たり施工量が二層同時施工と比べて 30%程度低下する。

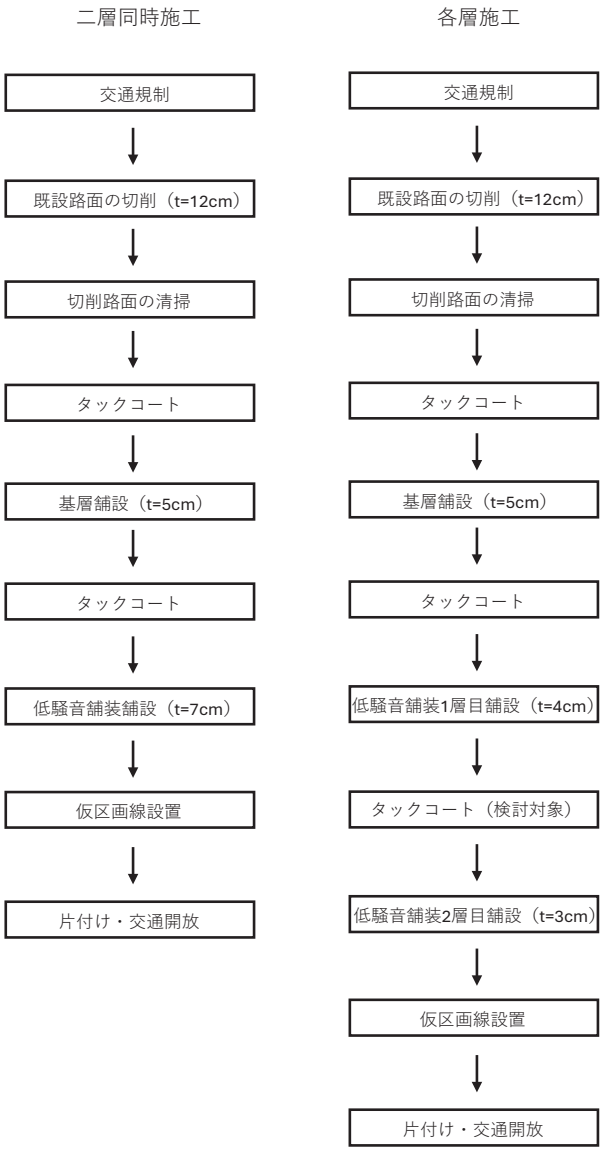


図 1　施工フロー

各種条件

・作業時間：21:00～6:00（夜間施工）

・施工方法：t=12cm の切削オーバレイ（切削打換え）

・施工幅員：4.4m

・施工厚さ：基層 5cm、表層 7cm

※二層同時施工の場合の表層:5cm（下層）2cm（上層）

※各層施工の場合の表層:4cm（下層）3cm（上層）、乳剤散布あり

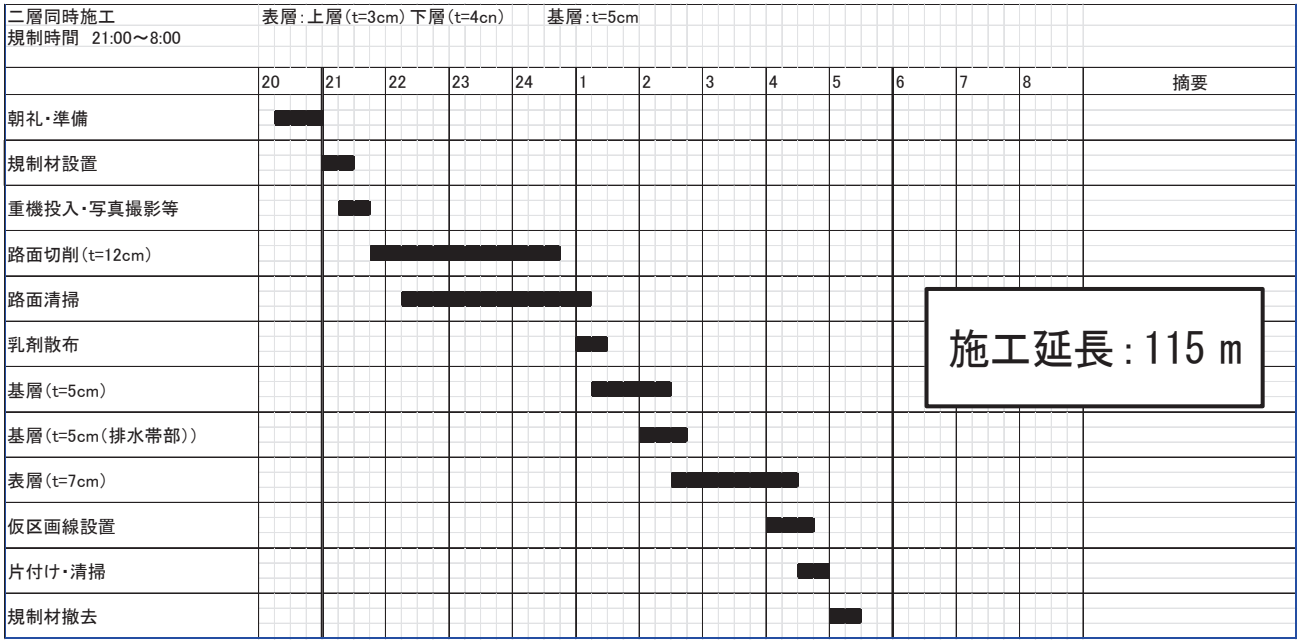


図２　二層同時施工の施工時間割（案）

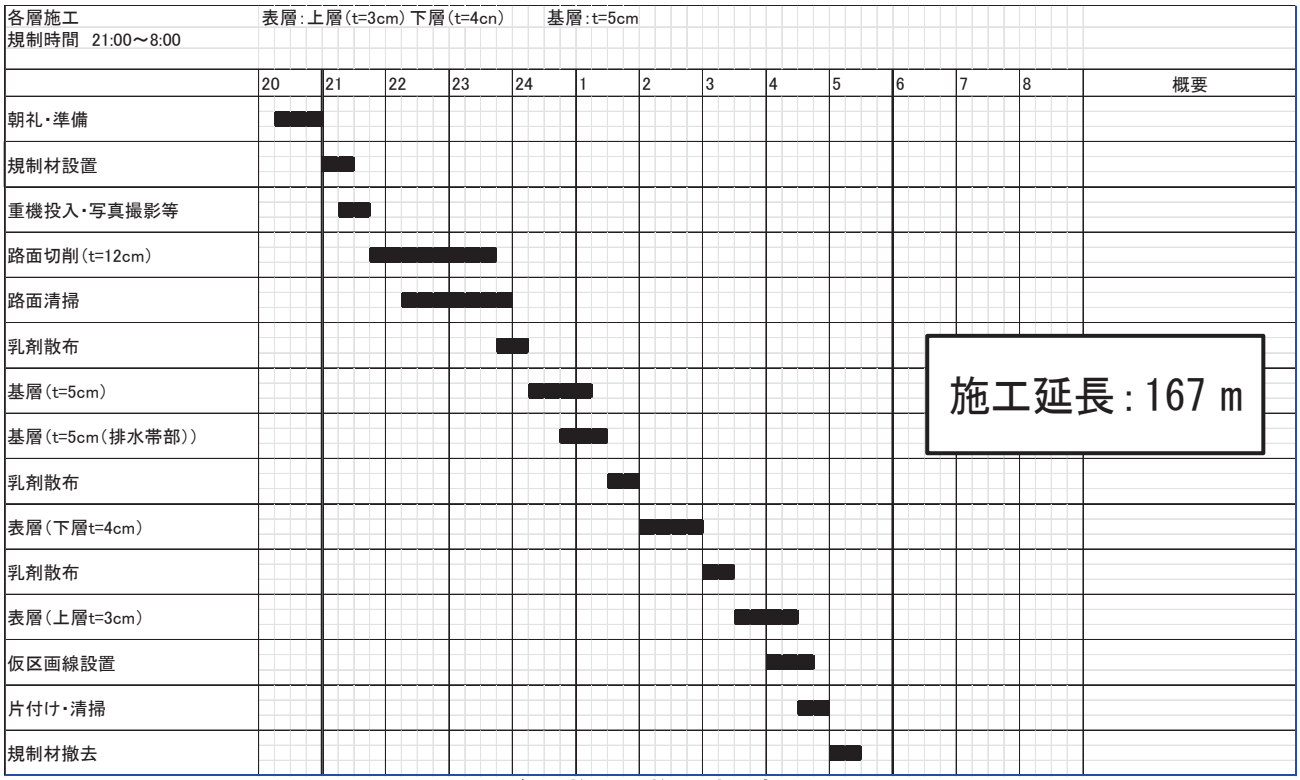


図３　各層施工の施工時間割（案）

2. 室内試験の概要

二層式低騒音舗装の上層混合物と下層混合物について、それぞれ 1 層ずつ施工することを模して供試体を作製し、乳剤塗布の種類や塗布量と、下層混合物の温度条件を変えて、物性試験を行い、実施工時の乳剤散布の必要性を確認した。

（1）各層施工を模して作製する供試体

二層同時施工の二層式低騒音舗装の構造及びアスファルト混合物は「二層式低騒音舗装の設計・施工要領（案）」によると**表－1** に示すとおりである。

二層同時施工の場合、供試体の上層と下層の厚さは、上層 2cm、下層 5cm の総厚 7cm である。
また、上層の目標空隙率は 18%～25%と範囲が広く設定されており、標準的な空隙率はこの中央値付近である 22%程度である。下層の目標空隙率は 16%～22%と設定されている。

表－1　MAP 等による施工の二層式低騒音舗装の構造及びアスファルト混合物

構造		アスファルト	
（表層）騒音低減機能層 厚さ：7cm	上層 厚さ：2cm	ポーラスアスファルト混合物	高耐久性ポリマー改質アスファルトＨ型 骨材最大粒径：5mm 目標空隙率：18～25%※1
	下層 厚さ：5cm		ポリマー改質アスファルトＨ型 骨材最大粒径：13mm 目標空隙率：16～22%※1
（基層）		粗粒度アスファルト混合物	ポリマー改質アスファルトⅡ型

※1 二層式低騒音舗装（車道）設計・施工要領（案）：東京都建設局道路管理部

これらのことから、都道では上層 2cm、下層 5cm の総厚 7cm として二層同時施工を行っていることと、引張時の力がより均等に作用するように、既に東京都土木技術支援センター年報 [2]で報告した上下層厚の組合せのうち、上層 3 cm、下層 4cm として上下層厚間の差が小さい組合せを採用し、本検討における供試体を作製した。**（図 4）**

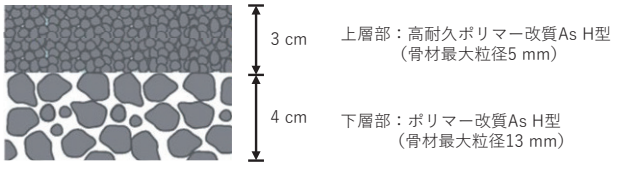


図 4 供試体模式図

空隙率については、令和 5 年度の室内試験の結果から各層施工を模して作製した供試体の上下層のアスファルト混合物の空隙率の最適な組合せは、22%であった [2]ため、本検討で作製した供試体の上下層のアスファルト混合物についても目標空隙率は 22%とした。

下層の温度条件については、（公社）日本道路協会の「舗装施工便覧」では、「敷均し時の混合物の表面温度（110℃）を下回らないようにする。」、「タイヤローラによる仕上げ転圧は、混合物の表面温度がタイヤローラに付着しない温度（70℃程度）になってから行うのが望ましい。」という記載があることに加え、施工業者にヒアリングした結果、転圧完了時の温度は 60℃程度となる可能性があるということから、下層の温度条件は 110℃と 60℃とした。

乳剤については、PKR-T、PKM-T、PKM-T-Q の 3 種類を使用し、散布量は、「舗装施工便覧」に記載されている標準散布量である 0.3～0.6ℓ/m2 を基準として設定した。

なお、アスファルト乳剤の選定にあたっては、（一社）日本アスファルト乳剤協会の「アスファルト乳剤」を参考とした。

一般に乳剤は、路盤とアスファルトとのなじみをよくするために PK-3（プライムコート）を使用し、表層と基層の接着力を高めるために PK-4（タックコート）を使用する。

タックコートの中でも低騒音舗装のポーラスアスファルト混合物等に使用する乳剤として、以下の 3 種類がある。

PKR-T （ゴム入りアスファルト乳剤）は、異種のアスファルト混合物の層間接着力を高めるために使用する。なお、PKR-T は、東京都建設局でポーラスアスファルト混合物に標準で使用する乳剤である。

PKM-T （タイヤ付着抑制型アスファルト乳剤）は、タックコート面の保護や乳剤による施工現場周辺の汚れを防止する場合に使用する。これは、乳剤の分解・硬化によって得られるアスファルト被膜の軟化点が高く、運搬車両や舗設機械のタイヤに付着し

にくいように調整した乳剤である。

PKM-T-Q （速分解型アスファルト乳剤）は、季節に依らず数分程度で分解し、PKM-T のタイヤ付着抑制機能を確保しており、短時間の養生で次工程に移れる乳剤である。

（2）試験項目

上下層間の乳剤散布の有無による空隙率、透水性能、引張破壊による引張強度、吸音率を把握するために、**表－2** に示す試験を実施した。また、**図 5、図 6、図 7** にそれぞれ透水試験、引張強度試験、垂直入射吸音率試験の模式図を示す。

なお、ここでの各試験は（公社）日本道路協会「舗装調査・試験法便覧」（以下、「便覧」という）及び日本産業規格（以下、「JIS」という）に準拠している。

また、引張強度の評価については、規格値が確認できなかったため、東日本・中日本・西日本高速道路㈱の舗装施工要領に示される値 0.6MPa を参考値とした。これは、橋面防水層の付着強度を対象とした建研式引張強度試験に基づく管理値であるが、本検討の試験装置及び試験条件と同一ではない。

（3）室内試験方法に関するまとめ

室内試験で作製した供試体の下層の温度条件、乳剤の種類と塗布量と、試験項目の組合せは、**表－3** のとおりである。

表－2　試験項目

試験		目的	評価指標	試験方法
物性試験	空隙率測定	空隙率を測定	空隙率(%) 目標空隙率 上層：18.0～25.0%※1 下層：16.0～22.0%※1	便覧 B008-2 ※ノギス法
	透水試験	透水性能を評価	透水係数(cm/秒) 規格値 1×10^{-2}cm/秒※1	便覧 S025
	引張試験	引張強度を評価	引張強度 規格値なし 参考値 0.6MPa※2	便覧 A084T
	垂直入射吸音率試験	吸音率を測定	ピーク吸音率等 規格値なし	JIS A 1405

※1 二層式低騒音舗装（車道）設計・施工要領（案）：東京都建設局道路管理部

※2 舗装施工要領：東日本・中日本・西日本高速道路㈱

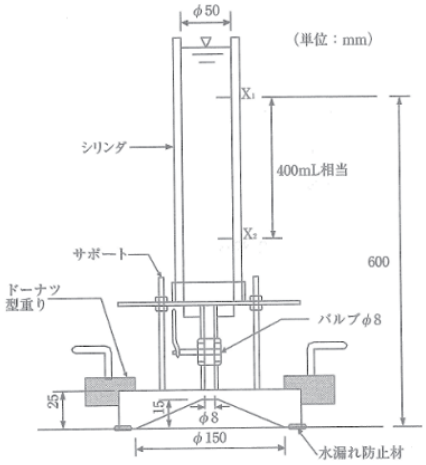


図 5　透水試験模式図

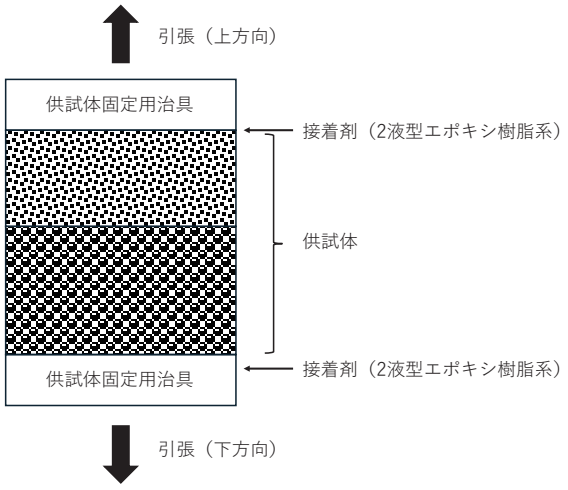


図 6　引張試験模式図

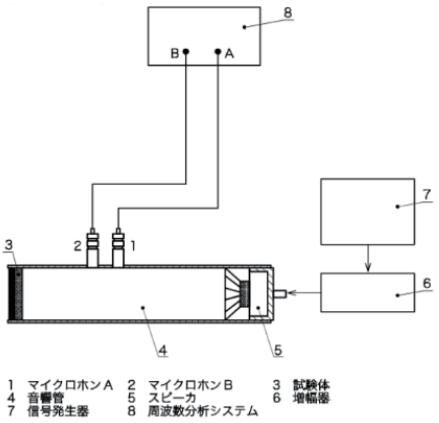


図 7　垂直入射吸音率試験模式図

表−3 各層施工を模して作製した供試体と試験項目

二層タイプ No.	下層の温度条件	乳剤		空隙率測定	透水試験	引張試験	垂直入射吸音率試験
		塗布量	種類				
①	110℃	塗布		○	○	○	○
②	60℃	なし		−	−	○	−
③	110℃	0.3 ℓ/m2	PKR-T	○	○	○	○
④			PKM-T	○	○	○	○
⑤			PKM-TQ	○	○	○	○
⑥	60℃		PKR-T	−	−	○	−
⑦			PKM-T	−	−	○	−
⑧			PKM-TQ	−	−	○	−
⑨	110℃	0.6 ℓ/m2	PKR-T	○	○	○	○
⑩			PKM-T	○	○	○	○
⑪			PKM-TQ	○	○	○	○
⑫	60℃		PKR-T	−	−	○	−
⑬			PKM-T	−	−	○	−
⑭			PKM-TQ	−	−	○	−

3. 室内試験の結果

（1）空隙率

下層の温度条件 110℃の場合の各層施工を模して作製した供試体の空隙率測定の結果を**図 8** に示す。上層と下層の合成空隙率であるが、下層の目標空隙率（16%）から上層の空隙率（25%）の範囲内に収まっている。すべてのタイプが空隙率 22%以下となっていたが、**図 9** のとおり、上層打ち継ぎ時の下層の温度が 110℃と高く、上層混合物を突固める際に下層の空隙に食い込み、締固め効果が高くなり、空隙率が低下した可能性が考えられる。乳剤塗布の有無、種類や塗布量による明確な違いは見られなかった。

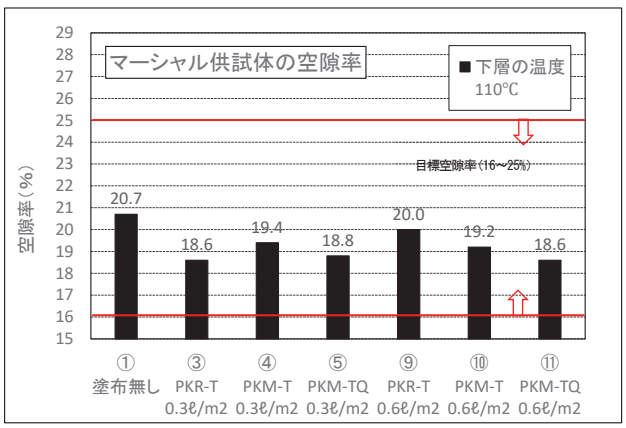
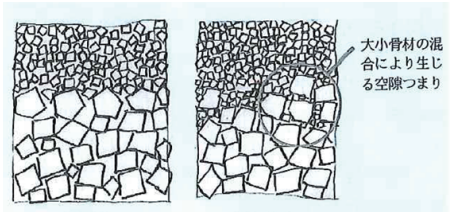


図 8　空隙率測定結果



締固め効果小さい　締固め効果大きい

図 9　締固め効果が高くなった場合の断面構造の違い

（2）透水係数

下層の温度条件 110℃の場合の各層施工を模して作製した供試体の透水試験の結果を**図 10** に示す。すべての組合せで透水係数（cm/秒）は、規格値の 1×10^{-2}cm/秒以上を満足した。乳剤の散布量を増加させると、透水係数が低下する傾向が見られた。

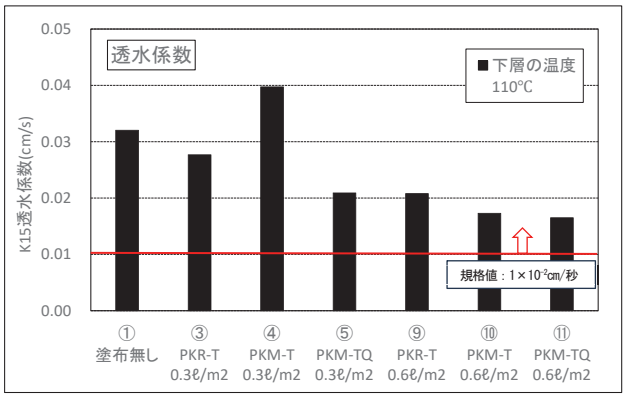


図 10　透水試験結果

（3）垂直入射吸音率

下層の温度条件 110℃の場合の各層施工を模して作製した供試体の垂直入射吸音率試験の結果を**図 11** と**図 12** に示す。**図 11** は、乳剤塗布無しの場合と PKR-T、PKM-T、PKM-T-Q のそれぞれで乳剤塗布量 0.3ℓ/m^2 の場合とで、吸音率を比較した。**図 12** は、乳剤塗布無しの場合と PKR-T、PKM-T、PKM-T-Q のそれぞれで乳剤塗布量 0.6ℓ/m^2 の場合とで、吸音率を比較した。ピークが 2 箇所で生じており、本稿の各層施工における二層式低騒音舗装の吸音特性は、過去の文献 [2]の二層同時施工による二層式低騒音舗装の吸音特性と同様の結果が得られた。**図 13** に吸音率の最大値と平均値を示した。吸音率については、規格値はないが、乳剤の有無、種類及び散布量で明確な差は見られなかった。

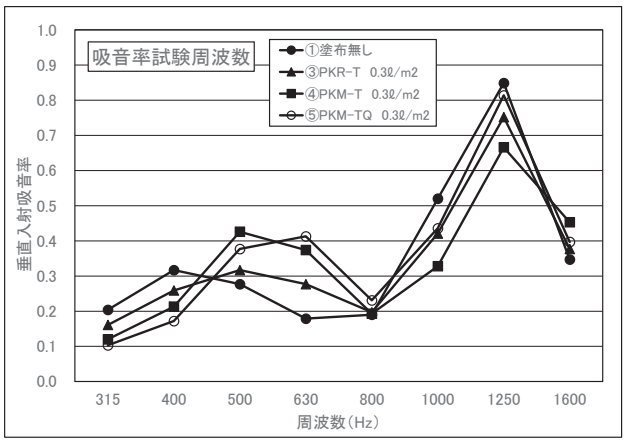


図 11　垂直入射吸音率（乳剤塗布 0.3ℓ/m² との比較）

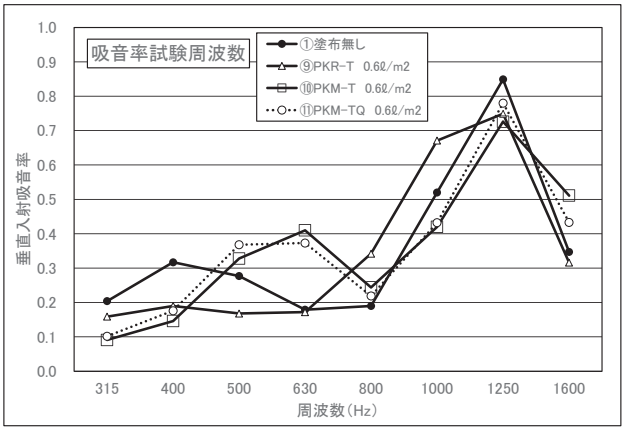


図 12　垂直入射吸音率（乳剤塗布 0.6ℓ/m² との比較）

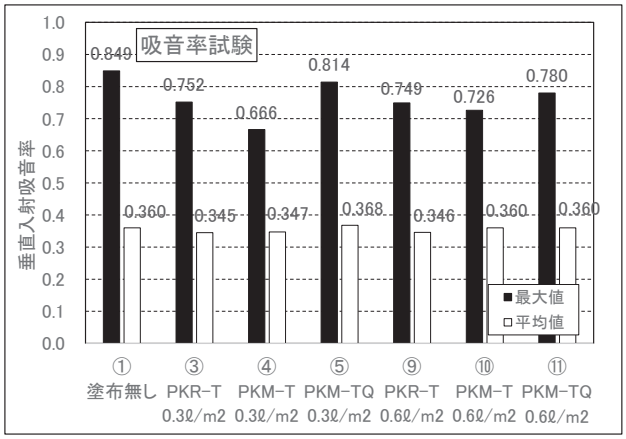


図 13　垂直入射吸音率（最大値と平均値）

（4）引張強度試験

下層の温度条件 110℃の場合と 60℃の場合とで、各層施工を模して作製した供試体の引張強度試験の結果を以下に示す。

引張試験では、各組合せで 3 個の供試体を作製し、供試体を上下逆方向に引張り、破壊したときの引張強度を測定した。

下層の温度条件 110℃の場合は、すべての組合せにおいて上層破壊となった。また、下層の温度条件が 60℃の場合は、乳剤の塗布量を少なくすると、界面破壊が生じやすく、乳剤塗布無しの場合は、界面破壊となった。

引張により上層混合物が破壊された状態を上層破壊と定義し、上層混合物と下層混合物の界面でちぎれ、破壊された状態を界面破壊と定義する。上層破壊と界面破壊の模式図を**図 14** 示す。

写真 1～写真 4 に引張試験後の供試体の破壊状況を示す。

図 15 に引張強度の結果を示す。3 個の供試体を破壊した時の引張強度の平均値とした。

このことから、引張強度については、乳剤塗布の有無、種類及び塗布量で明確な差は見られなかった。

表－4 に供試体破壊時の破壊形態の結果を示す。

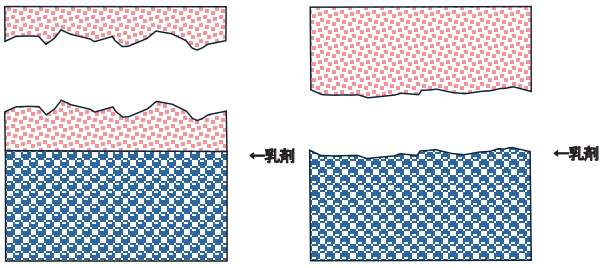


図 14　上層破壊及び界面破壊の模式図

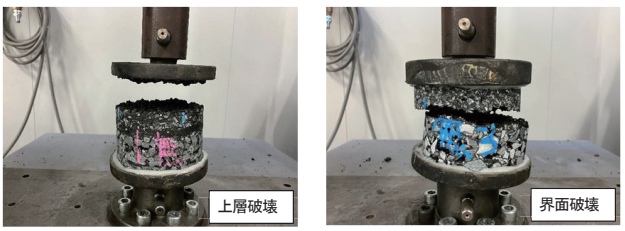


写真 1　乳剤塗布無し（下層温度条件：左 110℃・右 60℃）

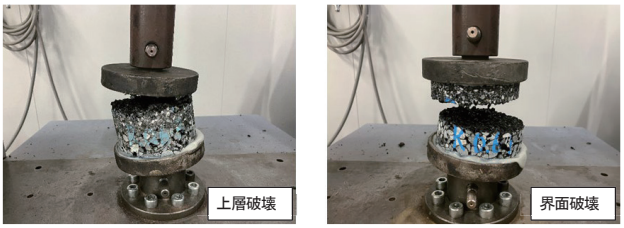
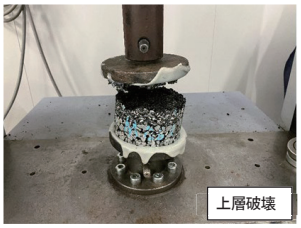


写真 2　PKR-T　0.6ℓ/m2（下層温度条件：左 110℃・右 60℃）



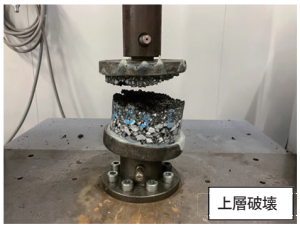
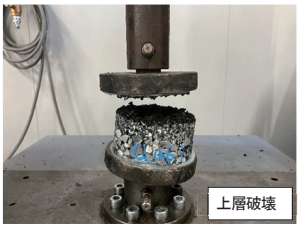


写真 3　PKM-T0.6ℓ/m2　（下層温度条件：左 110℃・右 60℃）



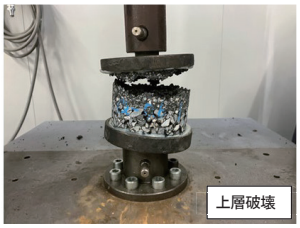


写真 4　PKM-TQ　0.6ℓ/m2（下層温度条件：左 110℃・右 60℃）

表－4　引張強度試験による供試体の破壊形態

二層タイプ No.	下層の温度条件	乳剤		破壊形態
		塗布量	種類	
①	110℃	塗布無し		3 本が上層破壊
③		0.3 ℓ/m2	PKR-T	3 本が上層破壊
④			PKM-T	3 本が上層破壊
⑤			PKM-T-Q	3 本が上層破壊
⑨		0.6 ℓ/m2	PKR-T	3 本が上層破壊
⑩			PKM-T	3 本が上層破壊
⑪			PKM-T-Q	3 本が上層破壊
②	60℃	塗布無し		3 本が界面破壊
⑥		0.3 ℓ/m2	PKR-T	1 本が上層破壊 2 本が界面破壊
⑦			PKM-T	2 本が上層破壊 1 本が界面破壊
⑧			PKM-T-Q	3 本が上層破壊
⑫		0.6 ℓ/m2	PKR-T	1 本が上層破壊 2 本が界面破壊
⑬			PKM-T	3 本が上層破壊
⑭			PKM-T-Q	3 本が上層破壊

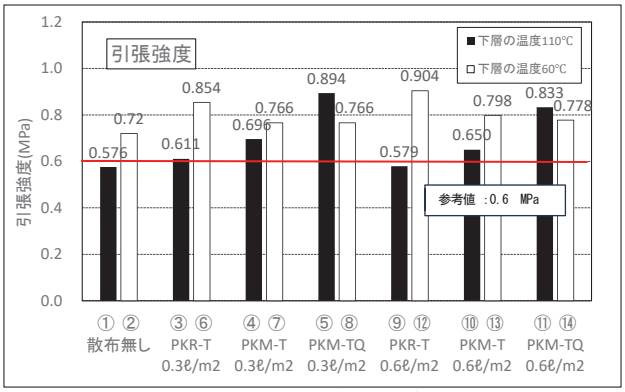


図 15　引張強度試験結果

6. 乳剤散布の有無による施工性の検討

（１）乳剤の種類による材料費の比較

乳剤の単価及び散布量を整理し、材料費と散布にかかる費用について比較を行った。

乳剤単価（散布込み）の費用について、乳剤メーカーにヒアリングを行った結果を**表-5** に示す。また、散布量別にかかる乳剤散布（散布込み）の費用について、m2 あたりの費用を算出した結果を**表-6** に示す。なお、費用の算出にあたり、乳剤密度を 1.0kg/ℓ として換算した。

表－5　乳剤単価（散布込み）の比較

乳剤名	種類	乳剤単価（円/kg）※散布込み	単価指数
PKR-T	ゴム入り乳剤	200	1.00
PKM-T	タイヤ付着抑制乳剤	330	1.65
PKM-T-Q	速分解型乳剤	400	2.00

※単価指数は PKR-T の場合を 1.00 として相対値を算出した

表－6　乳剤単価（散布込み）の比較

乳剤名	種類	散布量（ℓ/m2）	乳剤単価（円/kg）※散布込み	単価指数
PKR-T	ゴム入り乳剤	0.3	60	1.00
PKM-T	タイヤ付着抑制乳剤		99	1.65
PKM-T-Q	速分解型乳剤		120	2.00
PKR-T	ゴム入り乳剤	0.6	120	2.00
PKM-T	タイヤ付着抑制乳剤		198	3.30
PKM-T-Q	速分解型乳剤		240	4.00

※単価指数は PKR-T（0.3ℓ/m2）の場合を 1.00 として相対値を算出した

※乳剤密度 1.0kg/ℓとした

乳剤を使用する場合の乳剤単価（散布込み）の費用について、種類や散布量により明確な差が生じることが確認された。

（2）乳剤の分解にかかる時間の比較

乳剤の種類ごとに分解にかかる時間について確認を行った。乳剤塗布時の観察では、下層温度 110℃ではすべての乳剤で分解確認まで 5 分程度であったが、下層温度 60℃では、PKR-T 及び PKM-T は分解確認まで 20 分程度、PKM-T-Q は分解まで 5 分程度であった。（**表−7**）

表−7　乳剤種別及び下層温度条件による乳剤の分解時間

乳剤名	種類	分解確認時間（下層温度 60℃）	分解確認時間（下層温度 110℃）
PKR-T	ゴム入り乳剤	20 分	5 分
PKM-T	タイヤ付着抑制乳剤	20 分	5 分
PKM-T-Q	速分解型乳剤	5 分	5 分

（2）各層施工の日当たり施工量の検討

令和 6 年度の委託では、**図 3** の各層施工の施工時間割（案）では、乳剤散布から分解確認までの時間は 30 分程度で想定した工程としている。

令和 7 年度の委託における乳剤塗布から分解までの観察結果から PKR-T、PKM-T、PKM-T-Q の乳剤散布の種類による分解時間に違いはあるが、実施工での乳剤散布から分解までの時間は最大 30 分程度であり、図 3 の各層施工の乳剤散布の時間は妥当であるといえる。

したがって、今回の試験結果から各層施工では、乳剤散布をしない場合は、施工工程を 30 分程度短縮することができる。

また、各層施工の日当たり施工量については、乳剤散布をしない場合は 30 分程度短縮できるが、施工工程への影響は小さく、乳剤散布の有無にかかわらず、日当たり施工量は同程度であると考えられる。

7. まとめ

本検討により得られた結果を以下に示す。

①各層施工における上下層間の乳剤塗布の有無、種類、塗布量、下層の温度条件に依らず、透水性能、は規格値を満足し、空隙率、吸音率、引張強度では明確な差が見られなかった。このことから、各層施工では、現道において乳剤散布無しによる実施工は可能である。

②乳剤散布無しとすることで、乳剤散布にかかる費用を削減できるとともに、施工工程を 30 分程度短縮することができる。

8. おわりに

本検討では、各層施工における乳剤散布の必要性を検討した。既に東京都土木技術支援センター年報（令和 7 年度）では、乳剤散布を前提として各層施工を模した供試体を室内及び場内施工により作製し、透水性能、耐流動性、吸音率について、二層同時施工と同等以上であることを報告している。

本検討により、各層施工では、現道において乳剤散布無しによる実施工は可能であると言える。今後は、現道での試験施工を行い、普通車を使ったタイヤ/路面騒音測定や、長期供用性に関する調査を行うことが必要であると考える。

参　考　文　献

1）田中輝栄（2011）：東京都車道舗装体系に取り込んだ二層式低騒音舗装の性能、平 23. 土木技術支援・人材育成センター年報、19-30

2）粉川、細田（2026）：二層式低騒音舗装の代替となる施工手法の技術検証，令 7，都土木技術支援センター年報，p9-17