

1. 二層式低騒音舗装の代替となる施工手法の技術検証

Technical verification 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
(前 東京都土木技術支援・人材育成センター技術支援課)
(公財) 東京都道路整備保全公社道路部土木技術課 粉川 心介

1. はじめに

東京都では、都道の騒音対策として平成 7 年度から骨材の最大粒径が 13mm のポーラスアスファルト混合物を表層に用いた低騒音舗装を本格的に適用してきた。更なる騒音低減性能を上回る低層音舗装の技術を構築するために、平成 10 年度から実道での試験施工を実施し検証を行ってきた。結果、「今後の道路舗装整備（車道）の進め方ー車道舗装体系ー」に取り込み、平成 17 年 3 月に道路工事設計基準において基準化し、翌 4 月から環状七号線や環状八号線などの優先的対策道路区間に導入した。それが二層式低騒音舗装であり、道路交通騒音対策の一施策として実績を上げてきている。

この二層式低騒音舗装は、タイヤ/路面騒音の低減性能を持つ表層が二層で構成され、上層は骨材最大粒径が 5mm で厚さ 2cm、下層は骨材最大粒径が 13mm で厚さ 5cm となっており、専用のアスファルトフィニッシャにより二層同時で施工するものである。¹⁾

こうした状況の中、これまで二層同時施工可能な MAP (Multi Asphalt Paver) や DL ペーパー (Dual Layer Paver) という専用アスファルトフィニッシャは、舗装工事における施工効率化・合理化による工期短縮やコスト縮減、地球環境への対応等を目的として施工会社各社により開発されてきた。しかし、今後、その施工機械が更新時期を迎える際にフィニッシャの新規製造が困難な状況であり、かつ、修理時における交換部品の枯渇も懸念されている。

この課題に対して、MAP 等に依らない二層式低騒音舗装の施工手法の技術検証を目的にして、①上層混合物と下層混合物について、室内試験によりそれぞれ

1 層ずつ施工することを模して作製した供試体の物性試験を行い、上下層の最適な組合せを検討した。(令和 5 年度) また、②上層混合物と下層混合物について、MAP 等により二層同時施工する場合(以下、「二層同時施工」という)とそれぞれ 1 層ずつ施工する場合(以下、「各層施工」という)で実施工を模して作製した供試体の物性試験を行い、各層施工の施工性について検討することにより、代替えとなる施工手法の技術検証を行った。(令和 6 年度)

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作製した供試体の物性試験を行い、上下層の最適な組合せを検討した。

(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表-1 に示すとおりである。

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。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と最適な組合せは、表-2 に示すとおりで検討した。施工業者にヒアリングし、過去の知見を踏まえ各層施工の場合は上層 2cm とすると剥離する可能性があるため上層は 3cm とした。また、乳剤散布により、下層の空隙を埋めてしまう可能性があるため、上層の空隙率 \leq 下層の空隙率となるように設定した。

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

表－2 各層施工を模して作製した供試体の上下
層の組合せ

二 層 タ イ プ No.	上層： 高耐久性ポリマー改質ア スファルトH型			下層： ポリマー改質アスファルト H型			総厚 (cm)
	最大 骨材 粒径 (mm)	目標 空隙率 (%)	厚さ (cm)	最大 骨材 粒径 (mm)	目標 空隙率 (%)	厚さ (cm)	
①	5	20	3	13	20	4	7
②	5	20	3	13	22	4	7
③	5	20	3	13	24	4	7
④	5	22	3	13	22	4	7
⑤	5	22	3	13	24	4	7
⑥	5	24	3	13	24	4	7
⑦	5	22	3	13	22	5	8
⑧	5	22	3	13	24	5	8

(2) 試験項目

表－3 に示すように、二層式低騒音舗装（車道）設計・施工要領（案）に示されるアスファルト混合物の空隙率、浸透水量、耐流動性を把握することを目的に試験を実施した。また、これに加え、騒音低減性能を確認するため、垂直入射吸音率試験により吸音率測定を実施した。写真－1 は、令和 5 年度の試験室内で供試体作製後、室内で吸音率を測定している状況（室内試験）である。写真－2 は、令和 6 年度の試験施工後に現場で吸音率を測定している状況（現場試験）である。また、現場にてコアを採取した後、室内でも吸音率を測定している。（室内試験）

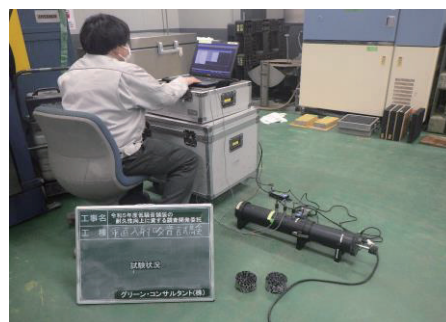
なお、ここでの各試験は（公社）日本道路協会「舗

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。

表－3 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(%) 目標空隙率 上層：18.0～25.0%※1 下層：16.0～22.0%※1	便覧 B008-2
	現場透水試験	浸透水量(ml/15 秒) 規格値 1000ml/15 秒※1	便覧 S025
	ホイールトラッキング試験	耐流動性を評価 動的安定度(回/mm) 規格値 3000 回/mm※1	便覧 B003
	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



写真－1 吸音率試験（令和 5 年度室内試験）



写真－2 吸音率試験（令和 6 年度現場試験）

3. 室内試験の結果

(1) 空隙率

空隙率測定の結果を図 1 に示す。なお、空隙率は上層と下層の合成空隙率とした。合成空隙率は、上層と下層の各目標空隙率に対して、概ね上層と下層の平均値となる。合成空隙率ではあるが、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。

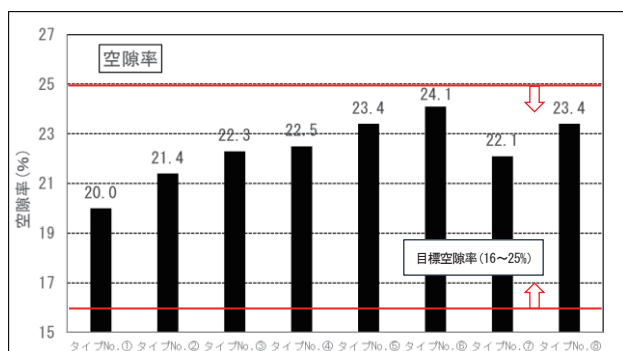


図1 空隙率測定結果

(2) 浸透水量

現場透水試験による浸透水量を図2に示す。浸透水量（ml/15秒）は、1250～1364の範囲にあり全て規格値1000以上を満足した。

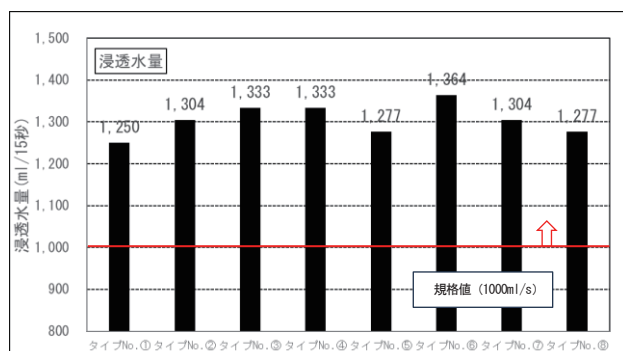


図2 浸透水量測定結果

(3) 動的安定度

ホイールトラッキング試験による動的安定度を図3に示す。動的安定度は（回/mm）は、4500～7880の範囲にあり、全ての組合せで規格値3000以上を満足した。

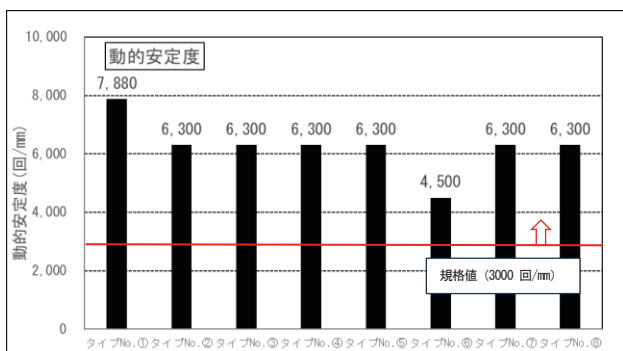


図3 動的安定度測定結果

(4) 垂直入射吸音率

図4に示すとおり、垂直入射吸音率は400～600Hzと1000Hz以上の2か所でピークが生じた。過去の文献²⁾で、二層同時施工による二層式低騒音舗装の吸音特性では、ピークが500～800Hzと1000Hz以上の2か所で生じるという報告があるが、本稿の各層施工による二層式低騒音舗装の吸音特性でも同様の結果が得られた。また、上層の空隙率が大いほどピーク吸音率は大い傾向にあり、舗装の層厚が大いほど、吸音特性が大い結果となった。（No. ⑥, ⑦, ⑧）

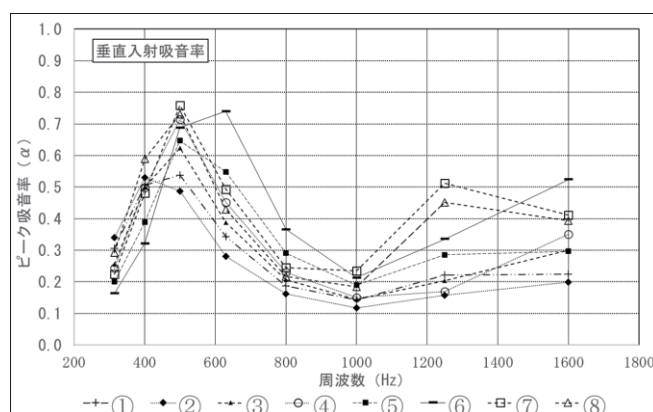


図4 垂直入射吸音率測定結果

(5) 室内試験結果のまとめ

各層施工を模して作製した供試体は、浸透水量及び動的安定度の品質規格をすべての組合せで満足した。文献³⁾によると、図5のとおり各層施工の場合は下層が締め固まってから上層を施工するため、上層と下層間における骨材の混在が少なく、その境が明確となると考えられる。表-4のとおり、上下層を同じ空隙率の組合せとする方が異なる空隙率の組合せとするより吸音特性で優位な結果となったことから、上層と下層の合成空隙率で22%程度が適切な組合せと考えられる。

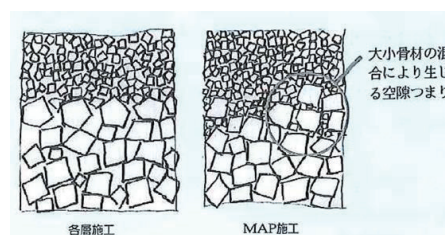


図5 MAPによる施工と各層施工により敷設した二層式低騒音舗装の断面構造の違い³⁾

表－4 各層施工を模して作製した供試体の試験
結果の上下層の組合せ評価

二層タイプ No.		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧
上層	最大粒径(mm)	5	5	5	5	5	5	5	5
	目標空隙率 (%)	20	20	20	22	22	24	22	22
	厚さ (cm)	3	3	3	3	3	3	3	3
下層	最大粒径(mm)	13	13	13	13	13	13	13	13
	目標空隙率 (%)	20	22	24	22	24	24	22	24
	厚さ (cm)	4	4	4	4	4	4	5	5
総厚 (cm)		7	7	7	7	7	7	8	8
試験結果	浸透水量	○	○	○	○	○	◎	○	○
	動的安定度	◎	○	○	○	○	△	○	○
	ピーク吸音率	△	△	○	◎	○	◎	◎	◎
相対評価		1	0	3	4	3	2	4	4

相対評価：◎高評価(+2)、○標準(+1)、△低評価(-2)

4. 場内試験の概要

室内試験の結果を踏まえ、二層同時施工と各層施工で実施工を模して作製した供試体の物性試験を行い、各層施工の施工性について検討した。

(1) 試験施工における上下層の組合せ

試験施工における各層施工の上下層の組合せは、室内試験の結果から上位3組を選択し、MAP等による施工と比較した。表－5のとおりである。

表－5 上下層の組合せ

二層タイプ No.	上層： 高耐久性ポリマー改質アスファルトH型			下層： ポリマー改質アスファルトH型			総厚	施工方法	乳剤散布の有無
	最大骨材粒径 (mm)	目標空隙率 (%)	厚さ (cm)	最大骨材粒径 (mm)	目標空隙率 (%)	厚さ (cm)			
①	5		2	13		5	7	MAP等による施工	無
④	5	22	3	13	22	4	7	各層施工	有
⑦	5	22	3	13	22	5	8	各層施工	有
⑧	5	22	3	13	24	5	8	各層施工	有

(2) 試験場所

本試験では、二層同時施工は埼玉県さいたま市西区緑区寺山地内の駐車場で行った。また、各層施工は板橋区船渡四丁目地内の敷地内で行った。

(3) 使用機械

本試験で用いた機械を表－6に示す。本試験は、都道での実施工を模して行うことを目的として行ったものである。そのため、使用する機械は実施工で用いられるものを使用した。

表－6 使用機械

機械名称	仕様	適用タイプ	
		タイプ No. ①	タイプ No. ④⑦⑧
DL ペーバ（二層式同時舗設型フィニッシャ）（写真－3）	施工幅員 2.5～5.0m	○	—
アスファルトローダ（材料供給機）	—	○	—
アスファルトフィニッシャ（写真－4）	施工幅員 2.5～5.0m	—	○
マカダムローラ	10 t	○	○
タンデムローラ	6～7.5 t	○	○
タイヤローラ	8 t	○	○



写真－3 DL ペーバ



写真－4 アスファルトフィニッシャ

(4) 場内試験路面の施工状況と施工条件

今回施工した場内試験路面の模式図を図6に示す。

写真－5, 6に場内試験路面の施工状況を示す。

本試験では、上層の舗設前に下層表面に乳剤をアスファルトディストリビュータにより散布した。散布量が過大となった場合、空隙率の確保が難しくなることが懸念されたが、試験施工後に舗装を撤去し、

既設路面を目視したところ、乳剤の跡は見られず、きれいな状態であった。（写真-7）このことから、乳剤は適切に散布されたものと考えられる。



写真-5 施工状況（二層同時施工）

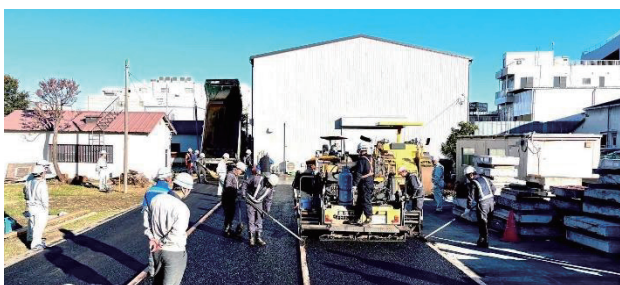


写真-6 施工状況（各層施工）



写真-7 舗装撤去の路面状況（試験施工後）

場内試験路面は、二層式の各タイプの幅員 2.5m×延長 15m（面積 37.5m²）とした。なお、基面はアスファルト面及びコンクリート面とした。図 6 のニュートラルゾーンは、転圧機械（マカダムローラやタイヤローラ）が往復するために滞留や切り回しするために用いた範囲である。この範囲は、物性試験の測定範囲外としている。

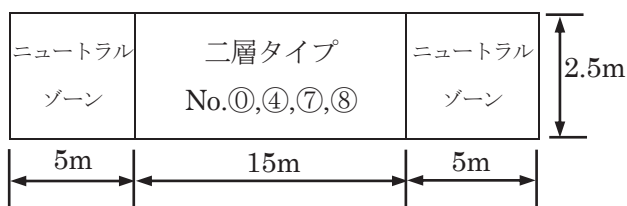


図 6 場内試験路面の施工規模

また、二層式の各タイプの転圧回数は、表-7 に示すとおりとした。転圧時一部のみが過転圧とならないようローラの位置と転圧回数を適切に管理した。

表-7 転圧回数

種別	機械名称	仕様	転圧回数（回）
一次転圧	マカダムローラ	10t	4
二次転圧	タンデムローラ	6～7.5t	4
仕上げ転圧	タイヤローラ	8t	6

5. 場内試験の結果

（1）空隙率

図 7 に空隙率測定の結果を示す。上層と下層の合成空隙率ではあるが、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。No. ①（二層同時施工）の空隙率が他と比べて小さく、締固め効果が高く、No. ④, ⑦, ⑧（各層施工）は二層同時施工に比べて空隙率が大きく、締固め効果が小さい結果となった。各層施工は、一層の敷均し厚さが薄くなるため、舗設時の温度低下が早くなることが影響していると考えられる。

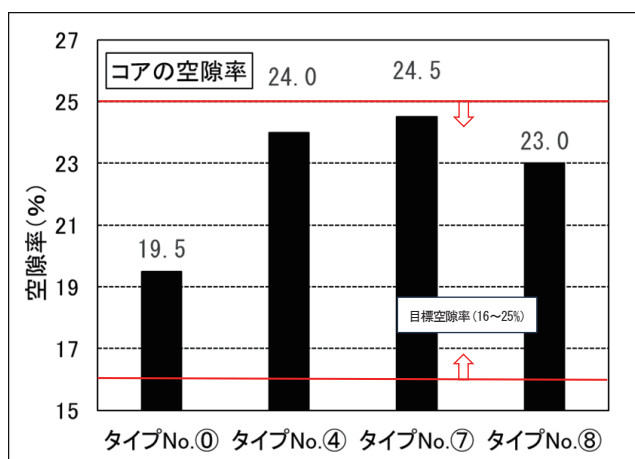


図 7 空隙率測定結果

（2）浸透水量

現場透水試験による浸透水量を図 8 に示す。浸透水量（ml/15 秒）は、1394～1521 の範囲にあり全て規格値 1000 以上を満足した。

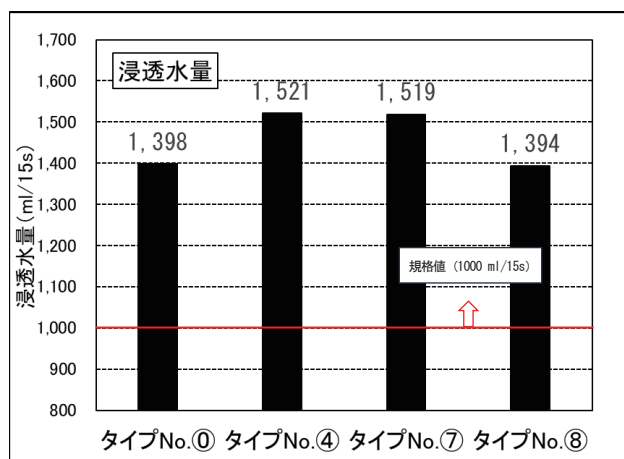


図8 浸透水量測定結果

(3) 動的安定度

ホイールトラッキング試験による動的安定度を図9に示す。動的安定度は(回/mm)は、4200～9000の範囲にあり、全ての組合せ規格値 3000 以上を満足した。

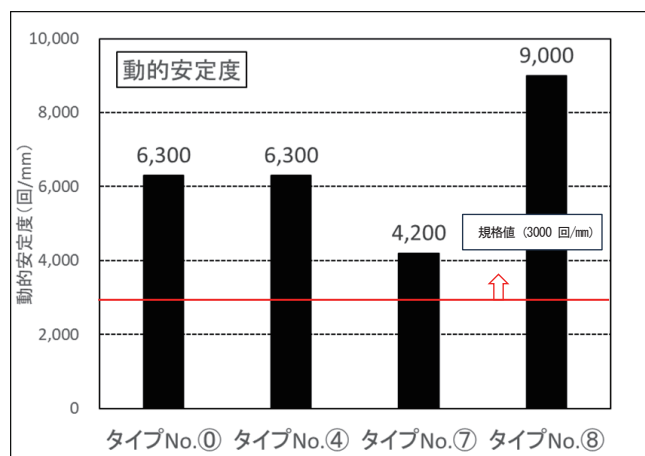


図9 動的安定度測定結果

(4) 垂直入射吸音率試験（現場試験）

現場試験による垂直入射吸音率は、図10に示す。No.④⑦（各層施工）の吸音率は、No.①（二層同時施工）よりも高い結果となった。ピークが800Hzと1600Hzの2か所で生じており、本稿の各層施工によ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。

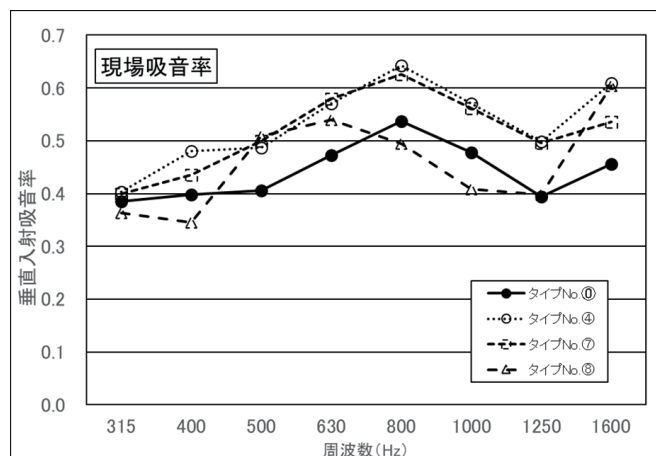


図10 垂直入射吸音率（現場試験）

(5) 垂直入射吸音率試験（室内試験）

室内試験による垂直入射吸音率は、図11に示す。No.④⑦⑧（各層施工）の吸音率は、No.①（二層同時施工）に比べて、315～1600Hzの範囲で上回っている。また、ピーク吸音率が500～630Hz付近と1250～1600Hz付近の2か所で生じており、本稿の各層施工によ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。

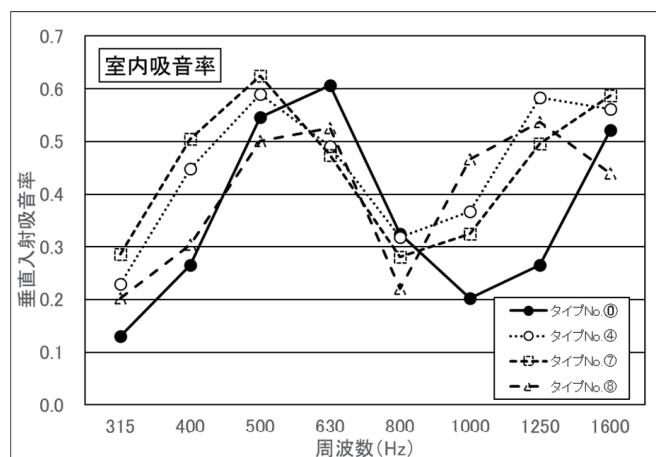


図11 垂直入射吸音率（現場試験）

(6) 場内試験結果のまとめ

各層施工を模して作製した供試体は、浸透水量及び動的安定度の品質規格をすべての組合せで満足した。各層施工は、二層同時施工に比べて空隙率が大きく、締固め効果が小さい結果となったが、吸音率については、二層式同時施工に比べて同等以上の結果が得られた。

6. 二層同時施工と各層施工の比較

(1) 施工フロー

二層同時施工と各層施工の施工フローを図 12 に示す。各層施工の場合、締固め効果が小さくなる可能性があることから、耐久性を確保するために施工手順として表層の舗設回数が1回増え、上下層間での乳剤散布が必要となる。なお、フロー図中では、各層施工の施工厚さを二層同時施工の仕様（総厚 7cm（上層 2cm、下層 5cm））に合わせているが、施工厚さが 1cm 程度増え、施工厚さ（総厚 8cm（上層 3cm、下層 5cm））になったとしても作業手順や作業量には変更がないと考えられる。

(2) 施工時間割（案）の提案

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 の切削オーバーレイ（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）

二層同時施工と各層施工の施工時間割（案）をそれぞれ図 13 と図 14 に示す。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。これに対して、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。さらに、舗設回数が 1 回増えることで以下の点に留意する必要があると考える。

外気温の高い時期では、次の工程での温度低下に要する時間が長くなるため、温度低下を待つ時間が長くなる。これに対して、外気温が低い時期では、乳剤の分解時間が長くなるため、各層施工を行う場合は本試験で用いた速分解性の乳剤を用いることが望ましいと考える。

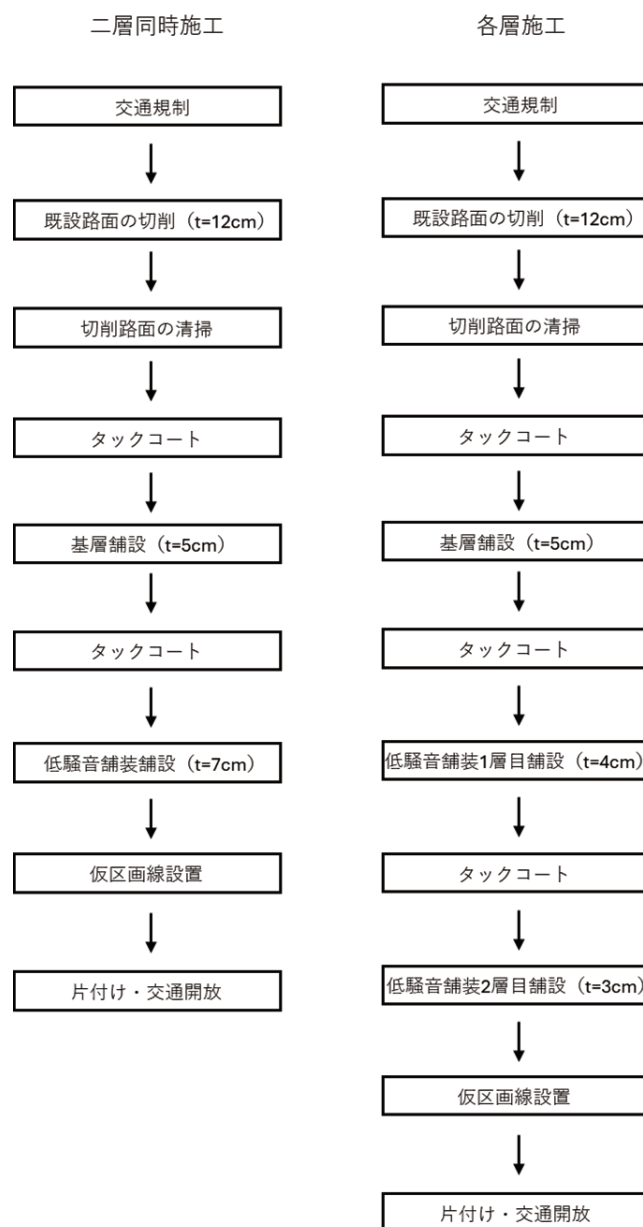


図 12 施工フロー

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）

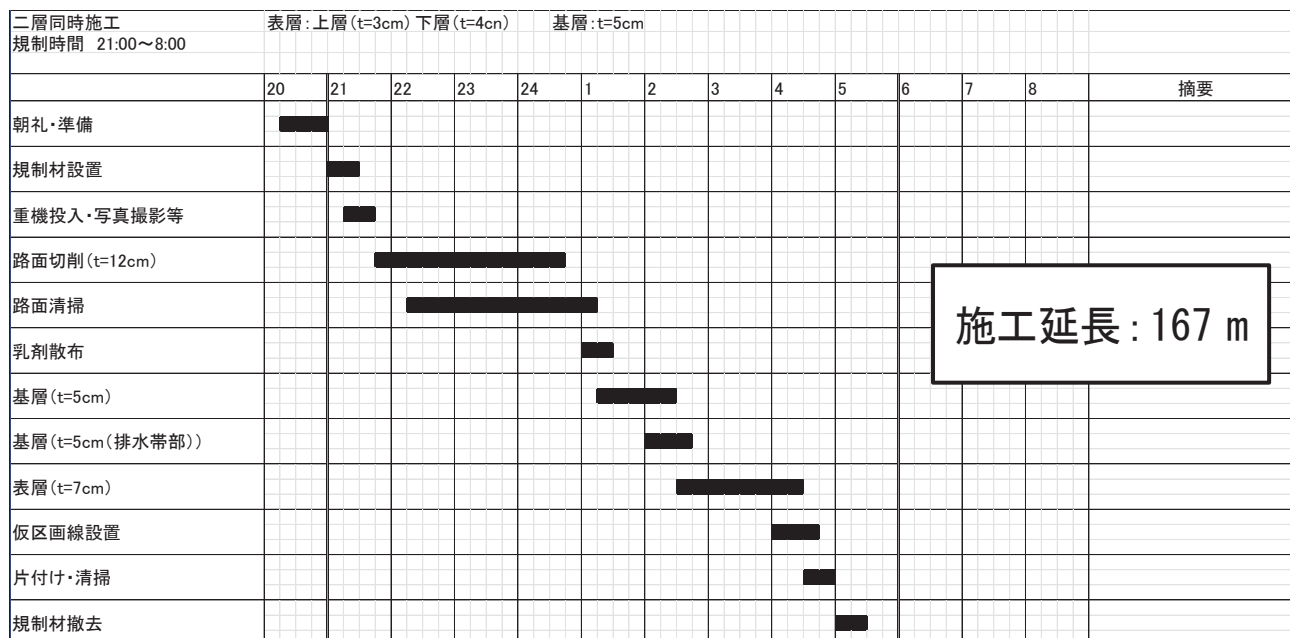


図 13 二層同時施工の施工時間割（案）

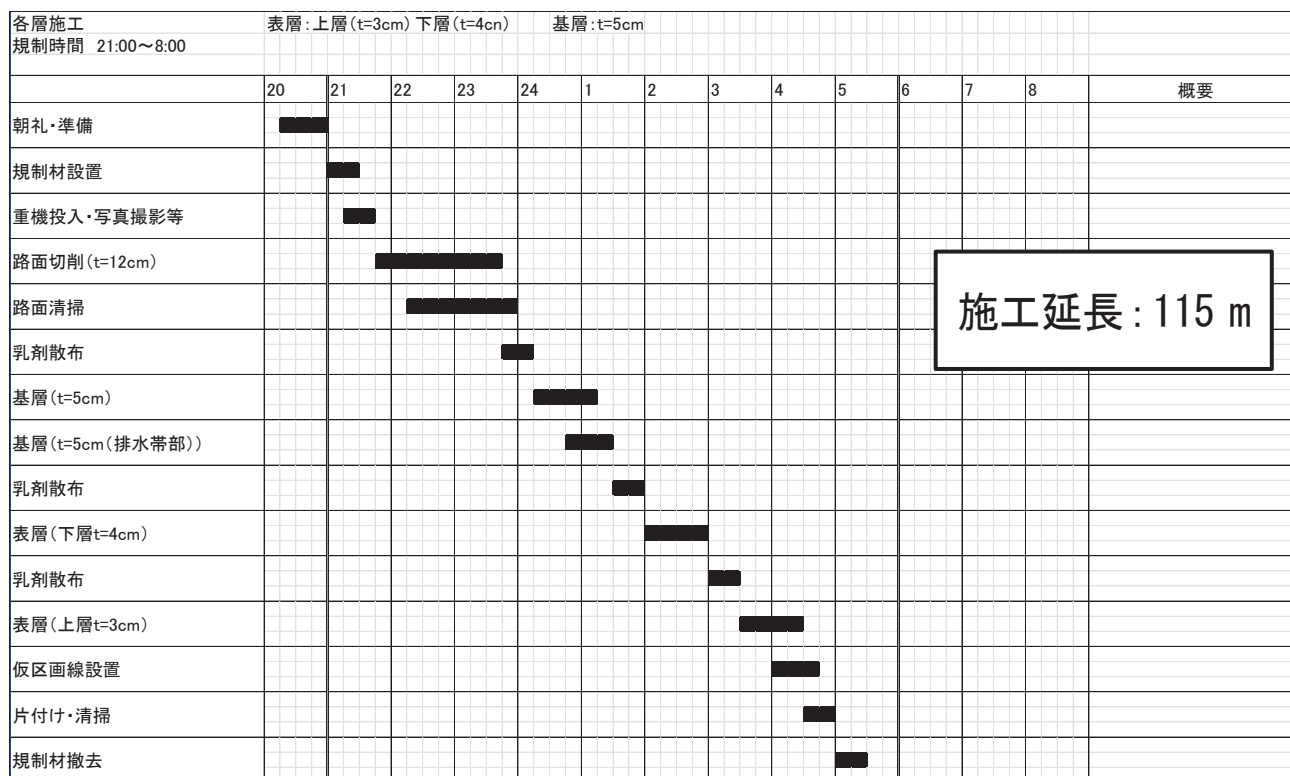


図 14 各層施工の施工時間割（案）

7. まとめ

二層式低騒音舗装の各層施工は、二層同時施工と比べて締固め効果がやや劣るものの、透水性能、耐流動性は規格値を満足し、吸音率は同等以上の結果が得られた。この結果から、各層施工は現道での実施工で十分に適用可能である。

ただし、二層同時施工と施工手順が異なることから、以下の点に留意する必要がある。

(1) 混合物の温度管理

各層施工は二層同時施工と比べて締固め効果が小さいことが確認された。ポーラスアスファルト混合物の空隙率が大きく、一層の敷均し厚さが薄くなることから、冬期の施工では舗設時の温度低下が早まることが懸念されるため厳密な温度管理が必要となる。

(2) 混合物の層厚と目標空隙率

令和5年度の室内における各層施工を模して作製した供試体では、層厚が吸音特性に与える影響が大きかった。しかし、令和6年度の場合内試験における各層施工を模して作製した供試体では、層厚と上下層の空隙率の組合せが吸音特性に与える影響に大きな差は見られなかった。

これは、供試体を室内で作製する場合は、混合物の温度管理を行いやすく、最適な条件で締固めを行えることから層厚や空隙率が試験結果に反映されやすい。一方、屋外での施工の場合、①外気温や風等の環境要因、②合材の荷下ろしに要する時間、敷均しや転圧の時間等の施工要因など、室内供試体に比べて層厚や空隙率が試験結果に反映されにくいと考えられる。

(3) 各層施工の施工性

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。二層同時施工の特殊な専用フィニッシャは、施工幅員の最小値が決まっているため、施工時の割付を検討する必要があるが、各層施工の利点としては特殊な機械を必要とせず、同一のフィニッシャで全ての舗設ができ、現場での施工幅員を容易に調整することができる。さらに、二層同時施工の専用フィニッシャに比べて小さく、機械の搬出入時にかかる余分な規制帯を必要としない。

(4) 乳剤散布

各層施工では、上下層間に乳剤を散布したが、透水性能や吸音特性に問題がないことは確認できた。前述のとおり、上層が薄層施工となるため温度低下が早く、耐久性を確保できないことが懸念されるため、上下層間の乳剤散布は必須である。乳剤は分解時間短縮のため、速分解性のものを用いることが望ましい。

8. おわりに

本検討により、各層施工は現道での実施工で十分適用可能である。今後は、現道での試験施工を行い、長期供用性に関する調査や、上下層の層厚や混合物の目標空隙率を変化させ、これらの要因の影響について検証することが必要と考える。

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) 峰岸・竹田 : 二層式低騒音舗装の最適な層構成に関する検討、土木学会舗装工学論文集第 10 巻、2005 年 12 月
- 3) 実用間近な二層式排水性舗装 土木技術資料 44-3 (2002)