

## 5. 低騒音舗装のリペーブ工法によるリサイクルの検討

Examination of Recycling by Repaving Method of Low Noise Pavements

技術部 峰岸順一、小林一雄、大野正宏

### 1. はじめに

東京都においては、低騒音舗装の本格導入が平成7年から始まり10年が経過し、補修の時期を迎え、リサイクル方法の確立が急がれている。今まで低騒音舗装のリサイクルについては、プラント再生工法による検討を進めてきた。

本文では、高粘度改質アスファルトを使用した既設低騒音舗装混合物を低騒音舗装にリサイクルし、騒音低減機能の回復を目的とした路上再生工法の適用性を検討した。

低騒音舗装をリペーブ工法でリサイクルした結果、混合物性状等では、新規低騒音舗装と遜色なく、騒音低減機能も回復でき、リペーブ工法の適用の可能性が確認できたので報告する。

### 2. 試験施工の内容

試験施工は、研究所構内の供用9年の骨材最大粒径13mm厚さ5cmの低騒音舗装（幅員3m、延長20m）で行った。試験施工箇所は、D交通相当の舗装構造であるが、交通供用は無い。図-1に示すように表層2

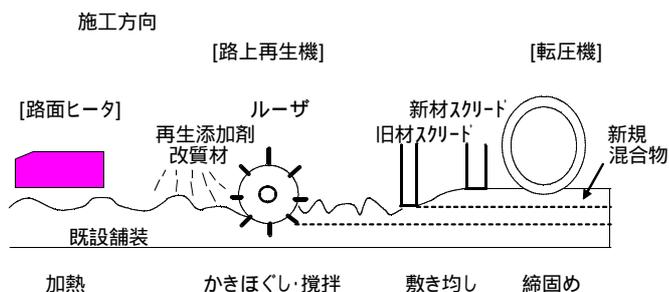


図-1 路上表層再生工法（リペーブ工法）

cmを事前切削した後に下層3cmを加熱し、再生用添加剤と改質剤を散布し、路上再生機によりかきほぐし、攪拌・敷き均しを行い、その上層に骨材最大粒径5mm（小粒径用高粘度改質アスファルト使用）の新規低騒音舗装を2cm敷き均すリペーブ工法とした。舗装構成は、図-2に示すとおりである。

### 3. 事前調査と配合試験

#### (1) 事前調査

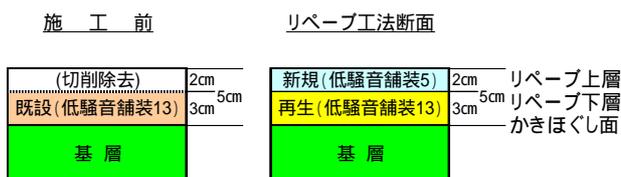
事前調査として既設舗装の調査と既設混合物及び既設アスファルトの調査を行った。

#### 1) 既設舗装の調査

##### 現場透水試験

既設舗装の透水量は、712ml/15secの値となった。この値は、写真-1に示すように間隙に土が詰まり、新設時の規格値の1,000ml/15secの半分程度に低下していた。

また、切削前と切削後の比較では、切削前が透水量712ml/15sec、切削後の透水量は283ml/15secで切削することにより発生する細粒化した骨材が切削面の間隙に入って空隙詰まりを起し透水量が半分程



・低騒音舗装5:骨材最大粒径5mmの低騒音舗装  
・低騒音舗装13:骨材最大粒径13mmの低騒音舗装

図-2 舗装構成

表 - 1 事前調査結果

調査項目	測定結果	備考	規格値
空隙率 (%)	16.3	切取り供試体	16~22
マーシャル安定度 (N)	6,337	切取り供試体	4,000以上
カンタプロ損失率 (%)	55.2	切取り供試体	20以下
ホイールトラッキング試験動的安定度 (回/mm)	10,080	切取り供試体	3,000以上
ねじれ抵抗性試験耐久時間 (分)	29	切取り供試体	-
タイヤ路面騒音測定値 [dB(A)]	72.6	測定速度15km/h	-
現場透水試験 透水量 (ml/15sec)	712	切 削 前	車道透水量 1000 (ml/15s)以上
	283	切 削 後	



写真 - 1 既設低騒音舗装の空隙詰まり状況

度に低下した。

#### タイヤ路面騒音測定

タイヤ路面騒音測定は、普通乗用車にマイクロホンを取り付けて行った。試験施工区間が短く助走距離が確保できないために計測速度を15km/hとした。周辺の既設道路での測定も15km/hとした。測定結果は、表 - 1に示すとおり既設舗装は、72.6dB(A)で周辺道路の低騒音舗装74.6dB(A)と比較すると、2dB(A)低い値であった。また、周辺道路の密粒度舗装75.4dB(A)と比較しても、2.8dB(A)低い値であった(図 - 15参照)。

#### 2) 既設混合物の調査結果

##### 空隙率

既設低騒音舗装の空隙率は16.3%で、写真 - 1に示すように表層上部2cm程度に土砂が詰まっていた。

##### 骨材粒度

既設低騒音舗装の、アスファルト抽出試験による骨材粒度分布は、図 - 3に示すように切削機による細粒化が少なく、低騒音舗装の粒度範囲であった。

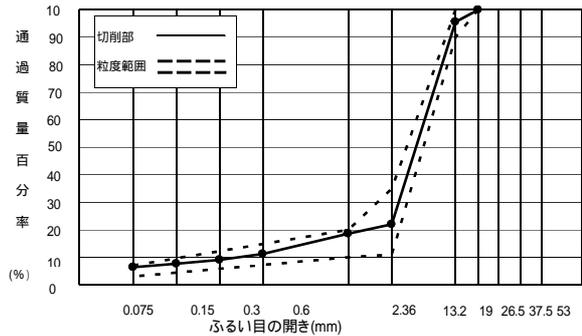


図 - 3 既設低騒音舗装の骨材粒度分布

この結果から、新規混合物による粒度の改善は必要無く、リペーブ工法が適用可能と判断した。

#### 安定度

現場切取り供試体の安定度は、6,337Nであった。

実試験施工の加熱目標温度を想定して、既設表層材を130℃で1時間程度再加熱し、締固め温度130℃で表裏各50回締固めた混合物も6,634Nと、規格値の4,000Nを上回った。試験施工の温度でも安定度は、確保できることを確認した。このときの空隙率は、18.3%であった。

#### カンタプロ損失率

現場切取り供試体によるカンタプロ試験の損失率は、55.2%で規格値の20%を大きく上回った。また、締固め温度130℃で再締固めた混合物の損失率も37%と規格値の20%以下を上回る結果となり、改質剤等でカンタプロ損失率の改善を図る必要があると判断した。

#### 動的安定度

現場切取り供試体によるホイールトラッキング試験の動的安定度は10,080回/mmで、規格値の3,000回/mm以上を大きく上回った。

#### ねじれ抵抗性

ねじれ抵抗性試験は、骨材飛散抵抗を評価するために実施した。試験に使用した、ねじれ抵抗性試験機の外観を写真 - 2に示す。当該試験機は、テーブルおよび車輪を別々に作動させることができる。このことで、交差点部で発生するコーナリング、制動・駆動に伴う水平せん断力を発生させるとともに、実際のタイヤを用いることでタイヤによるけり出しをも考慮している。また、回転半径が小さいことで、



写真 - 2 ねじれ抵抗性試験機



表 - 2 ねじれ抵抗性試験条件

項目	試験条件	備考
使用タイヤ	5.00-10	小型トラック用タイヤ・リフグハターン
接地圧 (MPa)	0.15	
タイヤ空気圧 (kPa)	200	
テーブル回転数 (rpm)	5	
タイヤ回転数 (rpm)	10	
走行半径 (cm)	10	
試験時間 (分)	30	ただし、飛散損失率が10%を超えない場合は継続する
試験温度 ( )	60	予備試験結果をもとに決定
供試体寸法 (cm)	40 × 40 × 5	

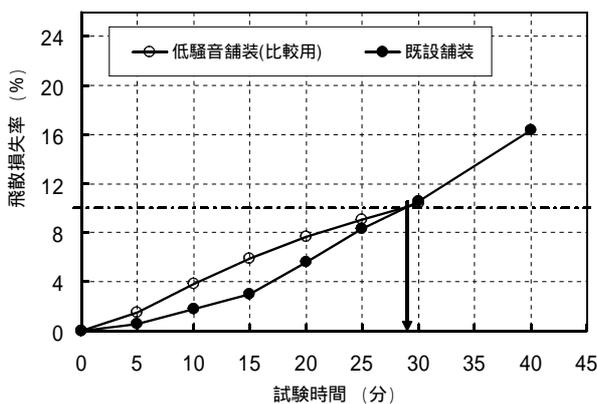


図 - 4 ねじれ抵抗性試験結果

より大きなせん断力を発生させ、交差点部での飛散を促進発生させようとするものである<sup>1)</sup>。試験条件は、表 - 2に示すとおりである。

試験結果は、図 - 4に示すとおりである。ねじれ抵抗性試験による耐久時間は、飛散損失率が10%に達する時間とした。飛散損失率10%の耐久時間は、

表 - 3 回収アスファルトの性状

調査項目	測定結果	高粘度改質アスファルトの規格値
針入度(1/100mm)	24	40以上
軟化点( )	78.0	80 ~ 105
伸び度15 (cm)	8	70以上
タフネス(N・m)	13.4	24以上
テナシテイ(N・m)	測定不能	24以上

29分となり新規混合物で作製した低騒音舗装（比較用の特殊開粒度アスファルト混合物（13））と同じ値となった。しかし、図 - 4に示すように、既設舗装は新規混合物と飛散損失の傾向が異なり、試験時間15分後供試体の表面が飛散しだすと、飛散損失が大きくなる傾向であった。

### 3) 既設アスファルトの性状

回収アスファルトの性状は、表 - 3に示すとおりである。回収アスファルトは針入度24(1/10mm)、軟化点78.0 であり、劣化が進んでいた。このことから、針入度は再生用添加剤で改善することとした。なお、切削部のタフネス・テナシテイ試験については、治具を乾燥機で80 程度に温めて試料を準備したが、治具からアスファルトがはずれ測定不能であった。

### (2) 配合試験

配合試験は、旧アスファルトの針入度を40(1/10mm)に改善することを目標とし、再生用添加剤の添加量を設定した。改質剤の添加量はカンタブロ試験の損質率20%以下を目標に決定した。

#### 1) 再生用添加剤の選定

再生用添加剤と改質剤は、現場での取扱いが容易で、作業性、混合性、均一性を考慮してエマルジョンタイプとした。

#### 2) 再生用添加剤の選定と改質剤添加量の選定

配合試験に先立ち、図 - 5に示すマスターカーブをメーカーの技術資料をもとに作成した。

再生用添加剤の添加量は、既設表層材の針入度試験結果をもとに目標針入度40(1/10mm)を満足する添加量をマスターカーブから決定した。決定した再生用添加材の添加量は、再生用添加剤Aで11%、再生用添加剤Bで12%となった。なお、添加量はアスフ

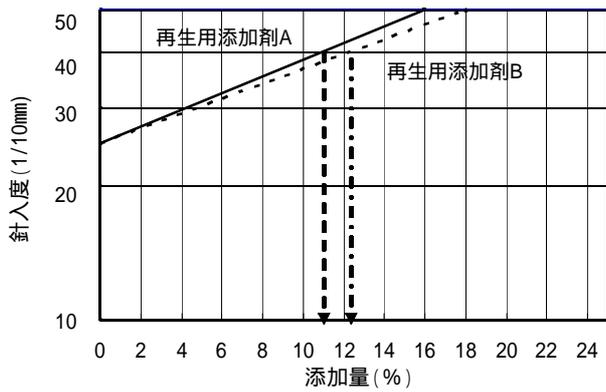


図 - 5 再生用添加剤のマスターカーブ

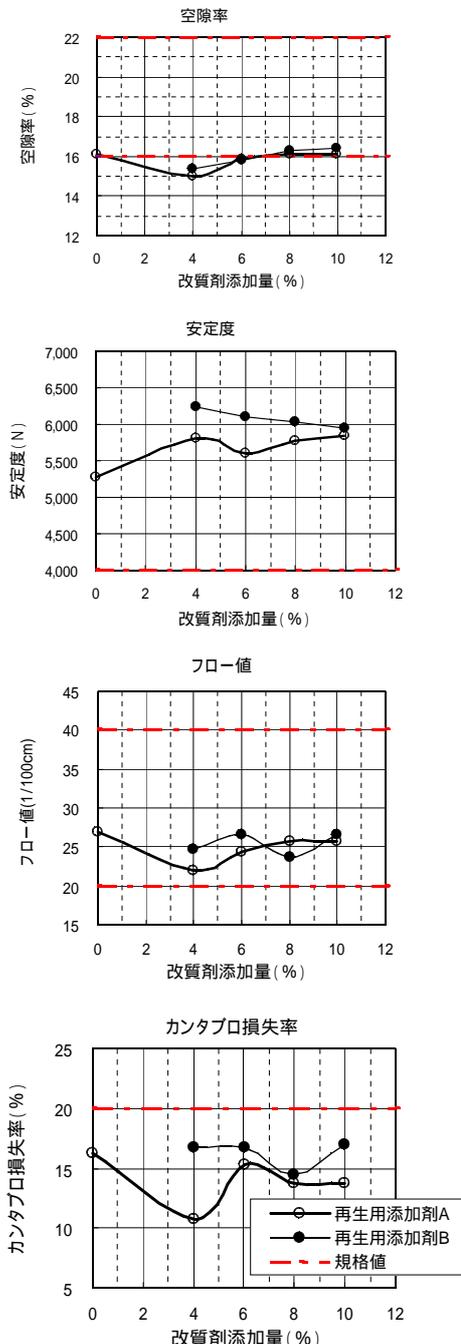


図 - 6 マーシャル試験及びカンタブロ試験結果

アルト量に対するものである。

また、改質剤の添加量は、既設表層材のアスファルト量に対し4段階（4、6、8、10％）に変化させて、マーシャル試験およびカンタブロ試験を実施した。

供試体作製時の締固め温度は、通常、路上表層再生技術指針（案）の目標値110 以上であるが、低騒音舗装用混合物には高粘度改質アスファルトを使用していることと、現場施工における加熱ムラ等を考慮して20 高い130 とした。

各配合のマーシャル安定度試験およびカンタブロ試験の結果は、図 - 6に示すとおりである。

空隙率および損失量は、各配合ともに、改質剤の添加量が4％付近で最小値となり、それ以降の添加量（6～10％）ではあまり変化が見られなかった。

安定度については、改質剤の添加量が増すにつれて若干下降する傾向であった。また、フロー値は、21～27（1/100cm）の範囲でほとんど差は見られなかった。

再生用添加剤の選定および改質剤の添加量の決定は、カンタブロ試験の損失率20％以下を目標に決定した。再生用添加剤の選定では、再生用添加剤Aが再生用添加剤Bより、カンタブロ試験損失率において若干優れた値を示していることから再生用添加剤Aに決定した。また、改質剤の添加量は、カンタブロ損失率の最も少ない添加量の4％に決定した。

### 3) 再生アスファルト混合物の性状

決定した再生用添加剤の添加量は11％、改質剤は4％であるので、施工時の再生用添加剤と改質剤の添加量は、410g/m<sup>2</sup>となる。この添加量で、締固め温度を110～140 の範囲で10 ずつ変化させて再生アスファルト混合物を作製した。そのマーシャル安定度試験とカンタブロ試験の結果は、図 - 7に示すとおりである。

締固め温度を高くすると空隙率及びカンタブロ損失率は下がり、マーシャル安定度は上がる傾向であった。フロー値は温度変化による影響が見られなくほぼ一定であった。マーシャル安定度、カンタブロ損失率から120 付近に変曲点があり、締固め温度は120 以上が望ましいと考えられた。

### 4) 再生アスファルトの性状

表 - 4 再生アスファルトの性状試験結果

調査項目	既設舗装	再生用添加剤11%、改質剤4%	高粘度改質アスファルトの規格値
針入度(1/10mm)	24	37	40以上
軟化点( )	78.0	67.5	80 ~ 105
伸度15 (cm)	8	15	70以上
タフネス(N・m)	13.4	23.9	24以上
テナシティ(N・m)	測定不能	6.7	20以上

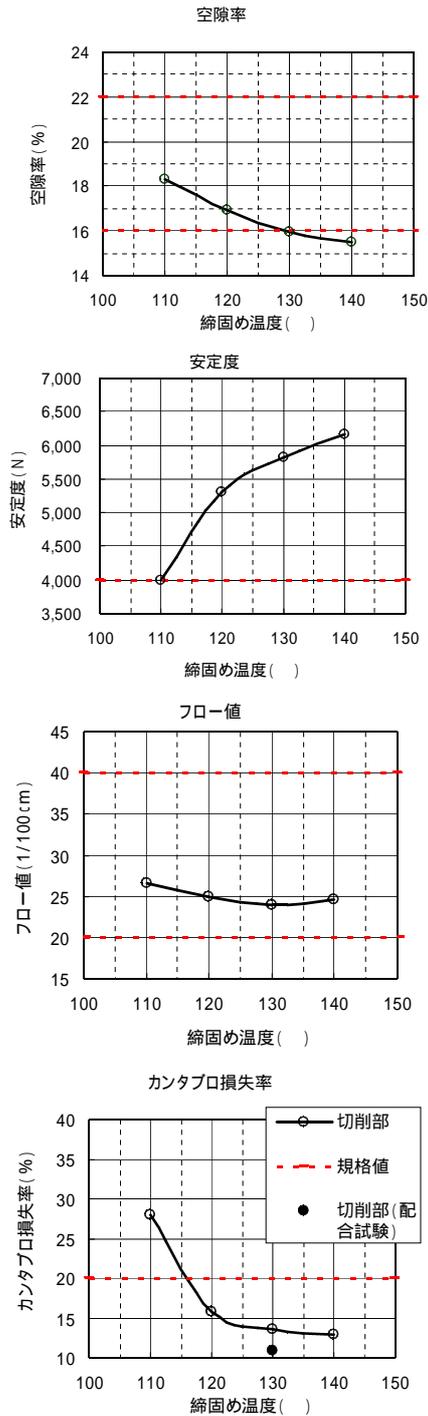


図 - 7 再生アスファルト混合物の配合試験結果

130 で締固めた混合物から回収した再生アスファルトの性状試験結果は、表 - 4に示す。

試験結果から、再生アスファルトの針入度は、再生用添加剤および改質剤を添加することにより、目標とした40 (1/10mm)に近い値となった。伸度は、再生用添加剤を添加することにより、5cm程度大きい値となった。しかし、軟化点は、再生用添加剤を

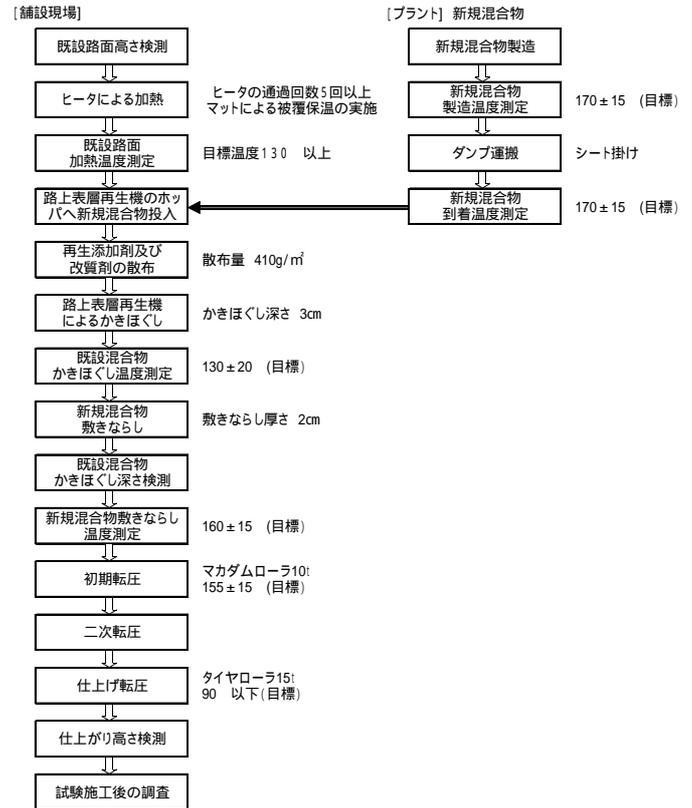


図 - 8 試験施工のフロー

添加することにより10.5 程度低い値となった。

#### 4. 試験施工の概要と施工時の調査

##### (1) 試験施工概要

試験施工は、平成16年12月、外気温11、路面温度12で行った。路上表層再生機は、かきほぐし方式がルージングドラム、かきほぐし装置がダブルグレードコントロール、敷均し装置がダブルグレードコントロールのものをを用いた。

試験施工のフローは、図 - 8に示すとおりである。また、施工条件および施工目標値を表 - 5に示す。

##### (2) ヒータ加熱について

表 - 5 施工条件及び施工目標値

施工条件	目標値	
既設舗装の過熱温度( )	130 ± 20	
かきほぐし温度( )	130 ± 20	
新規混合物敷きならし温度( )	160 ± 15	
転圧温度( )	初期転圧温度	155 ± 15
	仕上げ転圧温度	90以下
再生用添加剤と改質剤の添加量 (g/m <sup>2</sup> )	410	
かきほぐし深さ(cm)	3	
新規混合物敷きならし厚さ(cm)	2	
転圧回数(回)	初期転圧	6
	仕上げ転圧	3

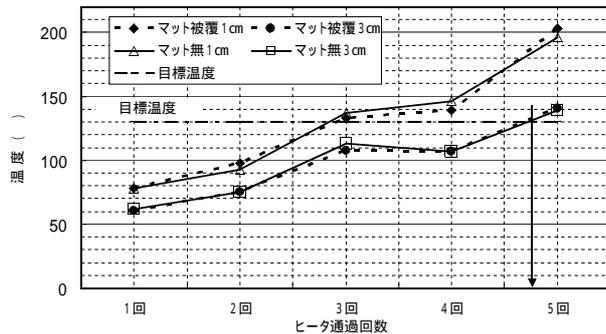


図 - 9 ヒータ加熱テスト結果

ヒータ加熱の目標温度は、舗装表面から深さ3cmで130とした。ヒータは、ボックス内熱風循環式を用いた。

研究所構内の試験施工であることからヒータは1台しか使用できないので、ヒータの加熱回数を把握するため加熱テストを同種の低騒音舗装上で事前に行った。テスト時の条件は、気温24.5、路面温度29.5、無風状態であった。マットでの被覆の有無についても検討した。温度の測定結果は、図 - 9に示すとおりである。マットの被覆の有無にかかわらずヒータ通過回数は5回以上必要であった。このことから、ヒータ通過回数は5回以上とし、保温のためマットによる被覆を行うこととした。

(3) リペーブ上層の新規混合物について

新規混合物の骨材配合割合と合成粒度は表 - 6に示すとおりである。混合物の性状は、表 - 7に示すとおりである。

(4) 試験施工時の調査

試験施工時には、既設舗装の高さ、既設舗装のかきほぐし深さ、仕上がり舗装高さ、既設舗装加熱温

表 - 6 新規混合物の骨材配合割合と合成粒度

材料の種類	配合割合 (%)	ふるい目の開き (mm)						
		13.2	4.75	2.36	0.6	0.3	0.15	0.075
碎石7号	87.0	100.0	90.2	16.7	9.0	6.5	6.0	4.8
砕砂	8.0							
石粉	5.0							
合計	100.0							

表 - 7 新規混合物の性状

アスファルト量 (%)	5.2
密度(g/cm <sup>3</sup> )	1.940
空隙率 (%)	22.3
安定度 (kN)	4.1
フロー値 (1/100cm)	25
理論密度(g/cm <sup>3</sup> )	2.497
透水係数 (× 10 <sup>-2</sup> cm/sec)	12.9
動的安定度 (回/mm)	7875

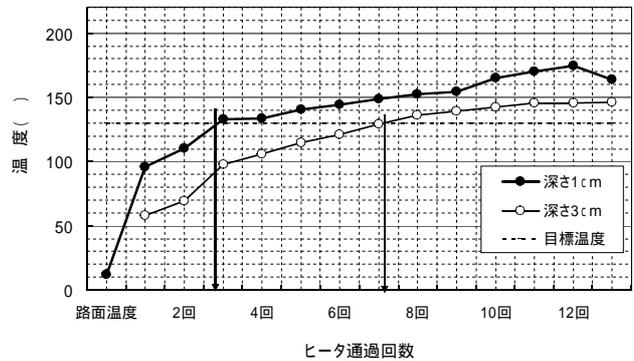


図 - 10 ヒータ通過回数と既設舗装の温度変化

度(深さ1、3cm)、既設舗装かきほぐし温度、新規混合物到着時温度、新規・既設混合物敷均し温度(深さ1、3cm)、初期転圧温度、仕上げ転圧温度の測定を行った。

施工時の主な調査結果は次のとおりであった。

(1) ヒータ通過回数

図 - 10に示すように既設舗装の舗装表面から深さ3cmが130に達するヒータ通過回数は8回であった。外気温が11であったためヒータ通過回数3回以降の温度上昇が特に遅かった。ヒータ加熱の状況は、写真 - 3に示すとおりである。また、ヒータ加熱終了後の再生添加剤及び改質剤の散布状況は、写真 - 4のとおりである。

(2) 施工時の温度

リペーブ下層の温度は、加熱終了時146、かき



写真 - 3 ヒータ加熱の状況



写真 - 4 再生用添加剤及び改質剤の散布状況

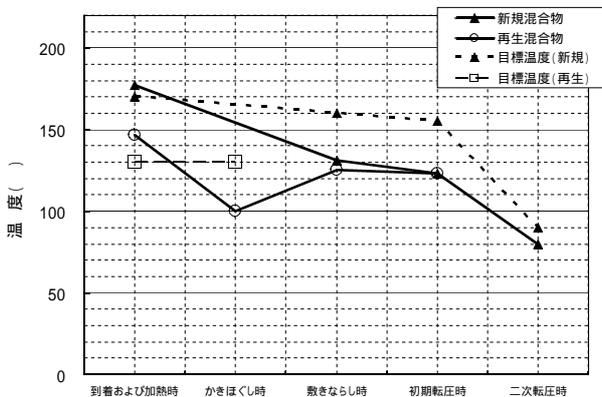


図 - 11 施工時の温度

ほぐし時100、リペープ上層の敷き均し時には125に上がった。リペープ上層の温度は、到着から敷



写真 - 5 リペープ下層のかきほぐし時の状況

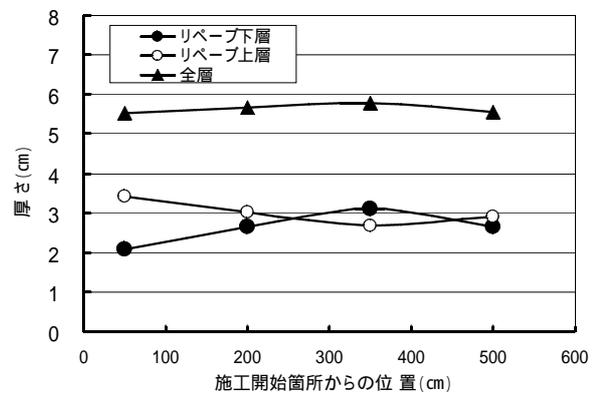


図 - 12 採取コアの厚さ

き均しで45 程度低下し、敷き均しから初期転圧で10 程度低下した(図 - 11参照)。

### (3) リペープ下層のかきほぐし時の状況

リペープ下層のかきほぐし時の状況は、骨材に旧アスファルトの付着が不均一で、混合むらが多く見られた(写真 - 5参照)。なお、路上再生機による敷き均しの状況は写真 - 6のとおりである。

### (4) リペープ工法の施工初期の施工厚さ

施工開始時(図 - 12の50cmの位置が該当する)には、かきほぐし混合されたリペープ下層混合物が、路上再生機の旧材スクリードまで到着するのに時間が掛り不足分を新規混合物が補うためにリペープ上層が厚くなる状況であった。

## 5. 試験施工後の調査結果

施工後の調査は、コア採取による施工厚さ、粒度、再生アスファルトの性状、混合物性状、現場透水量、



写真 - 6 路上再生機による敷き均しの状況

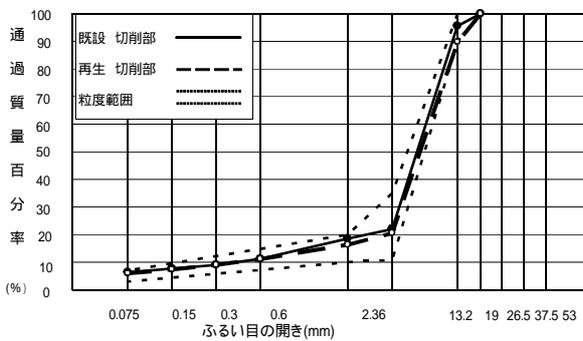


図 - 13 リペーブ下層混合物の粒度

表 - 8 回収アスファルトの性状

調査項目	既設舗装		再生舗装 (リペーブ下層)	高粘度改質アスファルトの規格値
	切削部	切削部	切削部	
針入度(1/10mm)	24	37	37	40以上
軟化点( )	78.0	67.5	69.0	80~105
伸度15 (cm)	8	15	18	70以上
タフネス(N・m)	13.4	23.9	22.6	24以上
テナシティ(N・m)	測定不能	6.7	11.0	20以上

現場引張り試験等を行った。主な結果は、以下のとおりであった。

(1) 再生舗装の厚さ

図 - 12に示すように、コア採取した再生舗装の厚さは5.5~5.8cm、リペーブ上層2.7~3.4cm、リペーブ下層2.1~3.1cmと設定より新規混合物層が厚くなった。

(2) リペーブ下層混合物の粒度

リペーブ下層混合物の粒度は、図 - 13に示すように低騒音舗装の粒度範囲内であり、路上再生機によるかきほぐしによる細粒化は少なかった。



写真 - 7 カンタブロ試験後の供試体



図 - 14 カンタブロ試験後の供試体 (模式図)

表 - 9 施工後の調査結果 (混合物性状他)

試験項目	事前調査 切削部	配合試験リペーブ下層	施工後調査リペーブ下層	施工後調査リペーブ上層
アスファルト量 (%)	4.41	4.41	4.34	5.20
空隙率 (%)	16.3	15.0	20.4	23.2
締固め度 (%)	-	-	95.8	98.8
マーシャル安定度 (N)	6,337	5,814	-	4,181
カンタブロ試験 損失率 (%)	55.2	10.8	-	15.9
動的安定度 (回/mm)	10,080	-	-	7,754
ねじれ抵抗性試験 耐久時間 (分)	29	-	-	37
水浸耐-ルック試験はく離率 (%)	-	-	-	2.0
タイヤ路面騒音値 (dB(A))	72.6	-	-	70.4
現場透水量 (ml/15sec)	712	-	-	1,189

(3) リペーブ下層の再生アスファルトの性状

リペーブ下層混合物の再生アスファルトの性状は、表 - 8に示すとおりである。アスファルト量は4.34%、針入度37(1/10mm)、軟化点69.0 と配合設計時と同様であった。

(4) 再生舗装の空隙率

施工後の調査結果 (混合物性状他) は、表 - 9に示すとおりである。再生舗装の空隙率は、上層23.2%、下層20.4%、上下層合成の場合が20.7%と空隙が改善された。なお、締固め度は、上層98.8%、下層95.8%とともに管理基準の95%を満足していた。

(5) 再生舗装のマーシャル安定度試験結果

再生舗装のマーシャル安定度試験結果は、4,181Nと既設舗装の6,337Nよりは小さいが規格値の4,000Nを満足していた。

(6) 再生舗装のカンタブロ試験結果

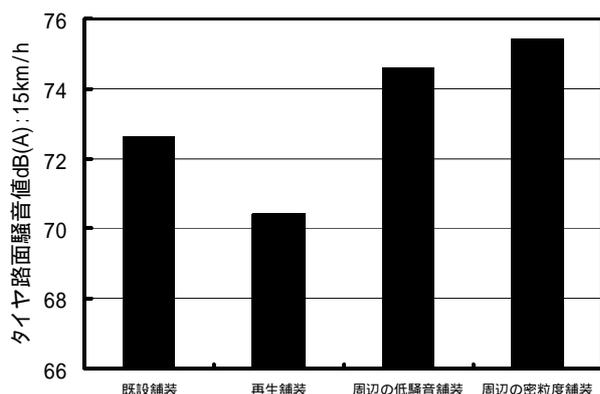


図 - 15 タイヤ路面騒音測定結果

再生舗装のカンタブロ試験結果は、損失率15.9%と改善された。上下層を比較すると、写真 - 7、図 - 14に示すように下層が損失率が大きかった。このことから、下層混合物の混合性に課題を残していると考えられる。

(7) 再生舗装のホイールトラッキング試験結果  
ホイールトラッキング試験は、DS = 7,754回/mmであった。耐流動性は、十分期待できる値であった。

(8) ねじれ抵抗性試験結果  
ねじれ抵抗性は、既設舗装の耐久時間29分に対して37分と30%改善していた。

(9) 水浸ホイールトラッキング試験結果  
水浸ホイールトラッキング試験のはくり率は2.0%と、はくり抵抗性は良好であった。

(10) タイヤ路面騒音  
タイヤ路面騒音（普通車、15km/hで測定）は、既設舗装72.6dB(A)に比較して再生舗装が70.4dB(A)と騒音低減機能が改善された（図 - 15）。なお、周辺道路で1.5年経過した骨材粒径13mmの低騒音舗装の場合、74.6(A)、密粒度舗装の場合75.4(A)であった。

(11) 現場透水量  
現場透水量は、既設舗装712ml/15sec、再生舗装1,189ml/15secと透水機能も改善した。

(12) 再生舗装の引張り強度  
再生舗装の付着強度を確認するために現場引張り試験(路面温度13 )を行った（図 - 16）。リペーブ層間（リペーブ上層とリペーブ下層の界面）の引張り強度は0.41~0.45MPa、リペーブ下層と既設舗装

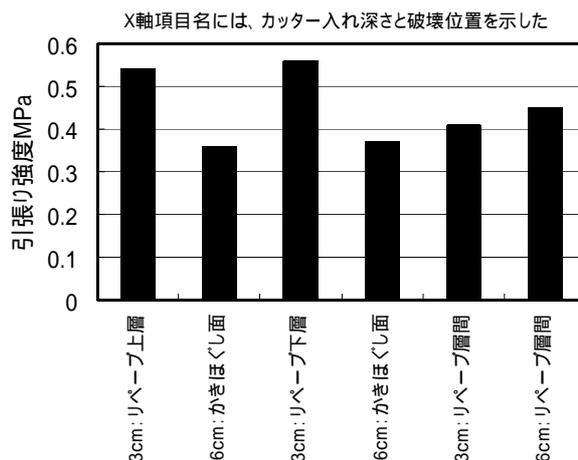


図 - 16 現場引張り試験結果

の引張り強度は0.36~0.37MPaであった。比較のために測定した既設舗装の低騒音舗装と粗粒度舗装の引張り強度0.47MPaとほぼ同等であった。

## 6. まとめ

調査結果をまとめると以下のとおりであった。

コア採取した再生舗装の厚さは5.5~5.8cm、リペーブ上層2.7~3.4cm、リペーブ下層2.1~3.1cmと設定より新規混合物層が厚くなった。

リペーブ下層混合物の粒度は、低騒音舗装の粒度範囲内であり、路上再生機によるかきほぐしによる細粒化は少なかった。

再生混合物のアスファルト量は4.34%、針入度37(1/10mm)、軟化点69.0 と配合設計時と同様であった。再生舗装の空隙率は、上層23.2%、下層20.4%、上下層合成の場合が20.7%と空隙が改善された。

再生舗装のカンタブロ試験結果は、損失率15.9%と改善された。ただし、上下層を比較すると下層が損失率が大きく、リペーブ下層の混合性には課題を残している。ホイールトラッキング試験は、DS = 7,754回/mmであり、耐流動性も十分である。ねじれ抵抗性は、既設舗装に比較して30%改善していた。水浸ホイールトラッキング試験のはくり率は2.0%と、はくり抵抗性は良好であった。

タイヤ路面騒音（普通車、15km/hで測定）は、既設舗装72.6dB(A)に比較して再生舗装が70.4dB(A)

と騒音低減機能が改善された。

現場透水量は、既設舗装712ml/15sec、再生舗装1,189ml/15secと透水機能も改善した。

再生舗装の付着強度も通常の低騒音舗装と粗粒度舗装とほぼ同等であった。

以上の試験施工結果から、混合物性状は新規混合物と同程度に改善し、騒音低減機能も改善され、低騒音舗装のリサイクルへのリペーブ工法の適用の可能性が確認できた。リペーブ下層のかきほぐし後の混合物状況から骨材にアスファルトの被覆が不均一

で混合むらがみられ、耐久性が懸念されたが、室内試験結果は良好であった。今後、再生混合物のアスファルトの被覆状況を評価する手法等の検討を含めて耐久性の検証が必要である。

## 7. あとがき

今後は、現道への適用に向けて混合性の改善および加熱時間の短縮も課題となることからヒータの改良等も含めて検討を行っていく予定である。

## 参 考 文 献

1) 峰岸順一、高橋光彦、阿部忠行(2002): 低騒音舗装の骨材飛散の実態と骨材飛散抵抗評価試験に関する一提案、土木学会舗装工学論文集第7集6-1~6-11