

3. 環境舗装発生材の再生に関する検討

Examination Concerning Reproduction of Environmental Pavement Generation Material

技術調査課 峰岸順一、小林一雄

1. まえがき

東京都では、道路の舗装分野においても環境に対する取り組みを積極的に進めてきた。また、現在では、舗装発生材のほぼ100%に近い高い水準のリサイクルを実現している。そして、環境への関心の高まりから、耐久性・安全性・快適性の舗装本来の機能に加えて、騒音低減、雨水の浸透、路面温度低減、NO_x濃度低減などの環境改善効果に期待した舗装技術(以下環境舗装と呼ぶ)の開発・普及に積極的に取り組んできた。これらの多くの技術は、まだ開発途上であるが、今後普及し規模拡大した際にはリサイクルの問題が浮上する。本文では、開発・普及していく際にもリサイクルを視野に入れて検討する必要があるとの考えのもと、これら環境舗装についてリサイクルの基礎的な検討を行った結果を報告する。

各種環境舗装として、現在積極的に取り組んでいる中から騒音低減機能としての低騒音舗装¹⁾、路面温度低減機能としての保水性舗装²⁾・遮熱性舗装³⁾、NO_x濃度低減機能としてのNO_x除去舗装⁴⁾を選定し、これらの発生材の再生路盤材および再生骨材への適用性を検討したものである。

2. 調査内容

本調査の内容は、各種環境舗装の発生材の再生路盤材および再生骨材への適用性の検討を行ったものである。調査対象試料は、表 - 1に示す8試料である。低騒音舗装新旧各1種類、保水性舗装鉱物質2種類、遮熱性舗装樹脂系・セメント系各1種類、NO_x除去舗

表 - 1 調査対象試料

環境舗装の種類 (骨材最大粒径13mm)	施工年度
低騒音舗装A(t=5cm)	平成13年度
保水性舗装A(鉱物質、 t=10cm)	平成13年度
保水性舗装B(鉱物質、 t=10cm)	平成13年度
NO _x 除去舗装A(セメント系、 t=5cm)	平成13年度
NO _x 除去舗装B(樹脂系、 t=5cm)	平成15年度
遮熱性舗装A(セメント系、 t=5cm)	平成13年度
遮熱性舗装B(樹脂系、 t=5cm)	平成13年度
低騒音舗装B(t=5cm)	平成17年度

装樹脂系・セメント系各1種類の計8種類である。

環境舗装発生材の調査内容は、表 - 2に示すとおりである。調査は、舗装切削時の検討、舗装発生材の路盤材への適用性の検討、再生骨材への適用性の検討の3項目について行った。

(1) 舗装切削時の検討

1) 粉塵濃度測定

粉塵濃度の測定は、舗装切削作業による切削作業および通行人への粉塵暴露の影響を把握するために行った。各種の環境舗装材を切削することにより発生する粉塵(10 μm以下の粒子)濃度測定を4施工場所7舗装について行った。測定は、作業環境測定法に準拠した。

2) 切削材の固着状況

切削材の固着状況は、目視観察で行った。

(2) 舗装発生材の路盤材への適用性検討

表 - 2 調査内容

調査内容	調査項目	試験方法	対象試料
舗装切削時の検討	粉塵量	環境基本法	~
	切削材の固着状況	目視観察	
舗装発生材の路盤材への適用性検討(切削材を試料とする)	粒度	舗装試験法便覧	
	骨材の微粒分量	水洗い法	
	絶乾密度、吸水率	舗装試験法便覧	
	すりへり減量	舗装試験法便覧	
	重金属含有量	土壤汚染対策施工規則	
再生骨材への適用性の検討(切削材を粉砕し試料とする)	粉砕材の固着状況	目視観察	
	粒度	舗装試験法便覧	
	骨材の微粒分量	水洗い法	
	絶乾密度、吸水率	舗装試験法便覧	
	すりへり減量	舗装試験法便覧	
	煤塵	JIS Z 8808準拠	
	アルデヒド類	ガス検知管による方法	
	炭化水素類	ガス検知管による方法	
	ダイオキシン類	JIS Z 0311準拠	
	一酸化炭素	JIS Z 0098準拠	
二酸化炭素	JIS Z 0304準拠		

舗装の切削材を試料として路盤材への適用として以下の試験を行った。

1) 粒度等の試験

基本的な品質の確認として、粒度、骨材の微粒分量、絶乾密度、吸水率、すりへり減量を測定した。

2) 金属含有量試験

環境舗装発生材に土壤汚染物質の含有を確認するため金属含有量試験を行った。切削した7試料について、土壤汚染対策法施行規則の規定に基づく土壤含有量調査に係る10項目(カドミウム、シアン化合物、鉛、六価クロム、ひ素、水銀、セレン、ふっ素、ほう素、アルキル水銀)について測定した。

(3) 再生骨材への適用性検討

再生骨材への適用性の検討として再生プラントでの粉砕を想定して、切削材をCBR自動突固め試験器で粉砕した試料を対象に以下の試験を行った。

1) 粒度等の試験

基本的な品質の確認として、粒度、骨材の微粒分量、絶乾密度、吸水率、すりへり減量を測定した。

2) 加熱発生ガスの分析

発生材のプラントでの再加熱を想定して加熱による有害ガスの発生の有無を確認した。粉砕した舗装材のうち4試料について、100~300 に

表 - 3 金属含有量試験の測定項目と方法

測定項目	測定方法
カドミウムおよびその化合物	JIS K0102 55.2 電気加熱原子吸光法
シアン化合物	JIS K0102 38 吸光光度法
鉛およびその化合物	JIS K0102 54.2 電気加熱原子吸光法
六価クロム化合物	JIS K0102 65.2.1 吸光光度法
ひ素およびその化合物	JIS K0102 61.2 水素化物発生原子吸光法
水銀およびその化合物	環境庁告示第59号 付表1 還元気化原子吸光法
セレンおよびその化合物	JIS K0102 67.2 水素化物発生原子吸光法
ふっ素およびその化合物	JIS K0102 34.1 吸光光度法
ほう素およびその化合物	JIS K0102 47.3 ICP発光分光分析法
アルキル水銀化合物	環境庁告示第59号 付表2 ガスクロマトグラフ(ECD)法

加熱した際に発生する、煤塵、ダイオキシン類、アルデヒド類、炭化水素類、一酸化炭素、二酸化炭素濃度を測定した。

(4) 試験方法

1) 粉塵濃度の測定

粉塵濃度の測定方法は、作業環境測定法に準じ光散乱方式により10 μm以下の粒子を測定対象とした。測定条件は、屋外に施工された舗装を小型切削機によって切削することにより発生する粉塵濃度を舗装面の端部から1~1.5m離れた風下、高さ1.1mの位置に試料採取口を設置し、1分間連続測定した。同時に風速、温湿度を計測した。

2) 粒度等の試験

粒度、骨材の微粒分量、絶乾密度、吸水率、すりへり減量は、舗装試験法便覧((社)日本道路協会)に従って行った。

3) 舗装発生材の金属含有量試験

土壤汚染対策施行規則(平成14年環境省令第29号)の規定に基づき環境大臣が定める、土壤含有量調査に係る測定方法により実施した。測定項目と測定方法は、表-3に示すとおりである。

4) 加熱発生ガスの測定

加熱装置

装置は、NCAT(アメリカアスファルト技術センター)燃焼法アスファルトバインダ測定装置を改造した。加熱温度は、100~300 とし、昇温速度は



写真 - 1 試料釜と炉内の状況

3 l/min、炉内寸法はW360×H300×D360mmとした。

試料釜(試料釜外観写真 - 1参照)

釜の内部寸法は 25×32cm(高さ)、釜の材質は真ちゅう製、ガス雰囲気は空気、試料採取量は2.5kg、発生ガス採取口径は 15mm、炉内の空気取り入れ口径は 15mmとした。

加熱ガス発生手順(ダイオキシン類を除く)

試料釜に粉碎した舗装材2.5kgを入れ蓋をし、100℃に加熱した電気炉に設置した。炉内の温度を、3 l/minで300℃まで(約60分)昇温させた後、30分間同温度を保持した。この90分間に発生してくるガスを採取し測定した。

煤塵量の測定

測定方法はJIS Z8808排ガス中のダスト濃度の測定方法に準拠した。採取条件は、舗装材2.5kgを試料釜に取り蓋をした後、予め100℃に加熱した電気炉に入れ発生してくるガスを毎分1.8 l/minで吸引しながら100℃～300℃に昇温(約60分)した。更に300℃の状態を30分保持し、合計約90分間に円筒ろ紙に捕集された物質を24時間シリカゲル入りデシケータ中に放置後、煤塵量として重量を測定した。

ダイオキシン類等およびコプラナPCBの測定

測定方法はJIS K - 0311 : 1999「排ガス中のダイオキシン類およびコプラナPCBの測定方法」に準拠して分析を行った。ダイオキシン類およびコプラナPCBの分析機器は、MS(質量分析計)とGC(ガスクロマトグラフ)を用いた。加熱発生ガス装置の加熱装置と

して、NCAT燃焼法アスファルトバインダ測定装置を用い、炉内設定温度300℃、炉内寸法W360×H300×D360mmとした。

試料釜は、と同一とした。試料加熱条件として、一般に骨材の再生プラントで行なわれている加熱雰囲気は、ドライヤの中で700～800℃で約3～4分間滞留して骨材温度は約160℃である。そこで、本実験では電気炉内のガスを吸引しながら炉内温度を一定に制御することが困難なため炉内へ試料釜を設置するのに可能な温度300℃とした。

発生ガスの採取は、試料釜に粉碎した舗装材2.5kgを入れ蓋をした状態で予め300℃に加熱した電気炉内に釜を設置し、この状態で釜内に発生してくるガスを吸引排気しながら試料表面温度が160～170℃の時間帯に発生してくるガスを毎分6リットルの吸引速度でJIS法に準じて濾紙ホルダ インピンジャ(ヘキサン洗浄水入り吸収瓶) ダイオキシン(DNX)吸着管 インピンジャ(ジエチレングリコール入り吸収瓶)に5分間、30リットル通気させた後、これらの捕集具一式を試験室に持ち帰りダイオキシン類およびコプラナPCBの測定をした。

アルデヒド類および炭化水素類の測定

測定方法はJIS K 0804 検知管式ガス測定器によった。測定装置は真空方式、検知管は短時間用検知管を用いた。アルデヒド類はホルムアルデヒド、アセトアルデヒド、アクロレイン、炭化水素類はメタクリル酸メチル、エチレン、ベンゼン、スチレン、トルエンを用いた。採取条件は、200℃に上昇した時点と300℃到達から15分経過後の発生ガスを5リットル捕集バックへ採取し、検知管法にて測定した。

一酸化炭素および二酸化炭素の測定

一酸化炭素はJIS K0098赤外線ガス分析計、二酸化炭素はJIS K0304赤外線ガス分析計を用いて測定した。採取条件は、150℃以上において適時、更に定点測定として、300℃上昇直後と15分経過後のガスを5リットル捕集バックへ採取し、赤外線ガス分析計により測定した。

3 . 調査結果と考察

(1) 舗装切削時の検討結果

表 - 4 切削機の緒元

項目	緒元
切削幅 (cm)	35
自重 (t)	4.55
前輪荷重 (t)	2.35
後輪荷重 (t)	2.20
出力 (kw)	37
馬力 (ps/2100rpm)	43.5



写真 - 2 切削状況および粉塵測定状況

1) 切削

小型切削機(切削幅35cm)により舗装の表層を切削して、試験に必要な発生材を採取した。小型切削機の諸元を表 - 4に示す。切削状況および粉塵測定状況を写真 - 2に示す。切削速度は10m/sとした。切削時の路面温度は14.6~20.5 であった。環境舗装材料7種類とも、通常の密粒度アスファルト混合物の切削状況と変わらず、良好な切削作業であった。切削材の固着状況は、表 - 5に示すとおりである。切削材の固着状況も特にアスファルト混合物塊として発生せず、骨材粒度として20~0mmの単粒度であった。ダスト分も少なく、粉塵も少なかった。

2) 粉塵測定結果

粉塵測定の結果は、表 - 6に示すとおりである。

切削時の粉塵濃度は、平均値が0.09~0.52mg/m³、最大値が低騒音舗装Aでの2.9mg/m³であった。粉塵測定時に風向も変化しており、粉塵量と風速の関係は明確に見いだすことができなかった。NO_x除去舗装A(セメント系)の粉塵量がやや多い結果であった。

表 - 5 切削材の固着状況

環境舗装の種類	固着状況
低騒音舗装A	固着部分、微粒分少ない。
保水性舗装A	固着部分、微粒分少ない。粒度やや粗い。
保水性舗装B	固着部分少なく、微粒分あり。
NO _x 除去舗装A	固着部分、微粒分少ない。粒度やや粗い。
NO _x 除去舗装B	固着部分、微粒分少ない。粒度やや細かい。
遮熱性舗装A	固着部分少なく、微粒分あり。粒度やや細かい。
遮熱性舗装B	固着部分有り、微粒分少ない。

表 - 6 粉塵測定結果

環境舗装の種類	粉塵量(平均値mg/m ³)	風速m/s
低騒音舗装A	0.23	1.0~2.5
保水性舗装A	0.35	0.5~3.7
保水性舗装B	0.23	0.2~1.9
NO _x 除去舗装A	0.52	0.1~0.5
NO _x 除去舗装B	0.22	2.2~3.5
遮熱性舗装A	0.19	0.4~1.5
遮熱性舗装B	0.09	0.4~1.5

粉塵量の管理基準に関して労働安全衛生法第65条の2第1項の作業環境測定の結果の評価「作業環境測定規準(昭和51年労働省告示第46号)」の別表(第2条関係)で、『土石、岩石、鉱物、金属または、炭素の粉塵(管理濃度2.9mg/m³)』を参照すると、7種類の環境舗装の切削時の平均粉塵量は、0.09~0.52mg/m³であり管理濃度以下であった。ただし、これらの測定値は風の影響により粉塵の拡散が大きく左右されことから、測定採取口の数を増やし測定頻度を高めるとともに大型切削機を用いての作業時の粉塵濃度を測定することにより、より現実的な結果が得られるものと考えられた。

(2) 舗装発生材の路盤材への適用性の検討

1) 粒度等の試験結果

7種類の環境舗装の粒度等の試験結果は、表 - 7に示すとおりである。なお、試料乾燥は天日乾燥後、

表 - 7 切削材の粒度等の試験結果

環境舗装の種類		低騒音舗装A	保水性舗装A	保水性舗装B	NOx除去舗装A	NOx除去舗装B	遮熱性舗装A	遮熱性舗装B
ふるいの寸法 (mm)	20	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	98.3	100.0
	13	89.2	91.0	96.1	94.3	95.8	84.2	97.6
	5	36.1	17.9	37.5	21.1	45.5	15.8	43.9
	2.5	17.5	6.8	20.7	8.9	26.3	6.0	21.1
	1.2	8.4	3.1	13.1	5.2	15.1	2.6	10.8
	0.075	0.2	0.1	2.1	0.6	0.5	0.4	1.8
絶乾密度(g/cm ³)		2.585	2.583	2.574	2.550	2.558	2.519	2.582
吸水率(%)		0.89	0.94	0.88	0.85	0.96	0.82	0.92
すりへり減量(%)		14.1	15.2	18.2	14.1	16.1	15.8	17.4

50 の乾燥機で2日間乾燥した。

粒度

最大粒径 26.5mmの試料は、遮熱性舗装B(樹脂系)のみで他の6種類とも最大粒径 19.0mmであった。遮熱性舗装B(樹脂系)の試料は、やや固結性が高いため細粒分が碎石に付着し粒径が大きい試料となっていた。粒度の粗さは、低騒音舗装Aを基準とすると保水性舗装Bがこれと類似しており、保水性舗装A、NOx除去舗装A(セメント系)および遮熱性舗装B(樹脂系)が細かく、NOx除去舗装B(樹脂系)、遮熱性舗装A(セメント系)が粗い粒度であった。7試料とも概ね20～5mmに分布した試料であった。

骨材の微粒分量

骨材の微粒分量試験(水洗い試験後の0.075mm通過率)は、各試料とも0.1～2.1%と少なく、最大で保水性舗装Bの2.1%であった。

絶乾密度および吸水率

絶乾密度は、2.52～2.59g/cm³の値であった。通常の碎石の絶乾密度は、概ね2.6～2.8g/cm³であり、切削材の絶乾密度は低い値であった。切削材は、碎石に微粒分や細粒分が固着しているため内部に気泡をふくんでいる。従って、密度測定において内部気泡を含んだ状態で計測するために、水中重量が真の試料重量でなく内部気泡を含んだ水中重量となるため、軽くなりその結果、密度が低い値となった。

吸水率は、各試料とも概ね1%と小さい値であった。

すりへり減量

すりへり減量は、概ね14～18%であり、硬質な材料と判断された。

材料評価

ふるい分け、骨材の微粒分量、絶乾密度、吸水率およびすりへり減量試験の結果、通常の骨材の性状値と変わらず、道路舗装材の上層・下層路盤材として使用する再生材の品質に問題はなく、十分に適用できるものと判断された。なお、再生路盤材の品質に関して「建設局土木材料仕様書」で、下層路盤および

上層路盤に使用する再生材の品質は、修正CBR、塑性指数(PI)および最大粒径を規定しているので、切削材の再生路盤材としての適用にあたり修正CBR、塑性指数(PI)を確認して使用することとなる。

2) 再生下層路盤の適用性

7種類の環境舗装発生材(切削材)が再生下層路盤材RC-40として使用できる切削材の最大混入率を求めたものを表-8に示す。

切削条件(気温、切削機、切削厚、作業速度等)および環境舗装材料で幾分異なるが、当該小型切削機で切削した切削材(発生材)は、再生材として下層路盤に概ね35～45%混入可能であることがわかった。

3) 再生上層路盤への適用性

7種類の環境舗装発生材(切削材)が再生上層路盤材RM-40として使用できる切削材の最大混入率を求めたものを表-9に示す。

再生材として上層路盤に概ね45～50%混入可能であることがわかった。

表 - 8 切削材の最大混入率(RC-40の場合)

環境舗装の種類	切削材の混入率%	ふるい通過質量百分率%				
		50mm	40	20	5	2.5
低騒音舗装A	45	100.0	98.6	80.8	31.3	16.2
保水性舗装A	40	100.0	98.5	79.0	23.7	11.7
保水性舗装B	35	100.0	98.4	77.3	31.0	17.0
NOx除去舗装A	40	100.0	98.5	79.0	24.9	12.6
NOx除去舗装B	35	100.0	98.4	77.3	33.8	19.0
遮熱性舗装A	45	100.0	98.6	80.0	22.2	11.0
遮熱性舗装B	35	100.0	98.4	77.3	33.3	17.0
下層路盤材RC-40の粒度範囲	-	100	95~100	50~80	15~40	5~25

表 - 9 切削材の最大混入率(RM-40の場合)

環境舗装の種類	切削材の混入率%	ふるい通過質量百分率%						
		50mm	40	20	5	2.5	0.4	0.075
低騒音舗装A	45	100.0	98.8	87.5	52.6	34.7	26.9	3.5
保水性舗装A	50	100.0	98.8	87.5	32.8	20.9	21.3	3.1
保水性舗装B	50	100.0	98.8	87.5	42.6	27.9	21.3	4.1
NOx除去舗装A	50	100.0	98.8	87.5	34.4	22.0	21.3	3.3
NOx除去舗装B	50	100.0	98.8	87.5	46.6	30.7	21.3	3.3
遮熱性舗装A	50	100.0	98.8	86.7	31.7	20.5	21.3	3.2
遮熱性舗装B	50	100.0	98.8	87.5	45.8	28.1	21.3	3.9
上層路盤材RM-40の粒度範囲	-	100	95~100	60~90	30~65	20~50	10~30	2~10

表 - 10 重金属等の含有量試験結果

計量項目 (単位: mg/kg)	含有量基準	定量下限値	低騒音 舗装A	保水性 舗装A	保水性 舗装B	NOx除去 舗装A	NOx除去 舗装B	遮熱性 舗装A	遮熱性 舗装B
カドミウム	150以下	1	1未満	1未満	1未満	1未満	1未満	1未満	1未満
全シアン	50以下(遊離 シアン)	2	2未満	2未満	2未満	2未満	2未満	2未満	2未満
鉛	150以下	1	4	9	4	5	6	1	4
六価クロム	250以下	2	2未満	2未満	2未満	2未満	2未満	2未満	2未満
ひ素	150以下	1	1未満	1	1未満	1未満	1未満	1未満	1未満
総水銀	15以下	0.1	0.1未満	0.1未満	0.1未満	0.1未満	0.1未満	0.1未満	0.1未満
セレン	150以下	1	1未満	2	1	1	1未満	1	1
ふっ素	4000以下	50	50	50未満	70	200	50未満	50	50未満
ほう素	4000以下	10	10未満	10未満	10未満	10未満	10未満	10未満	10未満
アルキル水銀	-	0.1	0.1未満	0.1未満	0.1未満	0.1未満	0.1未満	0.1未満	0.1未満

4) 重金属等の含有量試験

重金属等の含有量試験結果は、表 - 10に示すとおりである。基準値は「土壤汚染対策法施行規則」(平成14年環境省令第29号)による。結果は、有害物質10項目の全てが基準値を大幅に下回っていた。全て

の試料で定量下限値を上回って検出されたのは鉛(定量下限値1mg/kg)1~9mg/kgであるが、基準値150mg/kg以下に比し、低値であり問題はない。比較的濃度が高く試料間でバラつきが認められたのはふっ素であった。NOx除去舗装A(セメント系)が200mg/kg

表 - 11 粉砕材の粒度試験等の結果

環境舗装の種類	ふるいの寸法(mm)	低騒音	保水性	保水性	NOx除去	NOx除去	遮熱性	遮熱性
		舗装A	舗装A	舗装B	舗装A	舗装B	舗装A	舗装B
ふるいの寸法(mm)	20	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
	13	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
	5	57.6	27.2	45.4	32.4	54.1	24.1	48.0
	2.5	34.3	15.4	32.2	27.0	44.8	13.8	17.0
	0.6	7.1	11.4	10.4	12.4	21.0	3.6	10.0
	0.3	3.9	6.2	7.2	6.8	12.4	1.5	7.1
	0.15	2.3	3.1	5.4	3.5	5.8	0.6	4.2
	0.075	1.0	0.8	3.6	1.2	2.5	0.2	2.1
絶乾密度(g/cm ³)		2.604	2.606	2.602	2.582	2.588	2.544	2.577
吸水率(%)		1.0	1.1	1.2	1.2	1.3	1.2	1.0
すりへり減量(%)		17.4	18.8	19.4	18.2	18.0	17.0	19.2

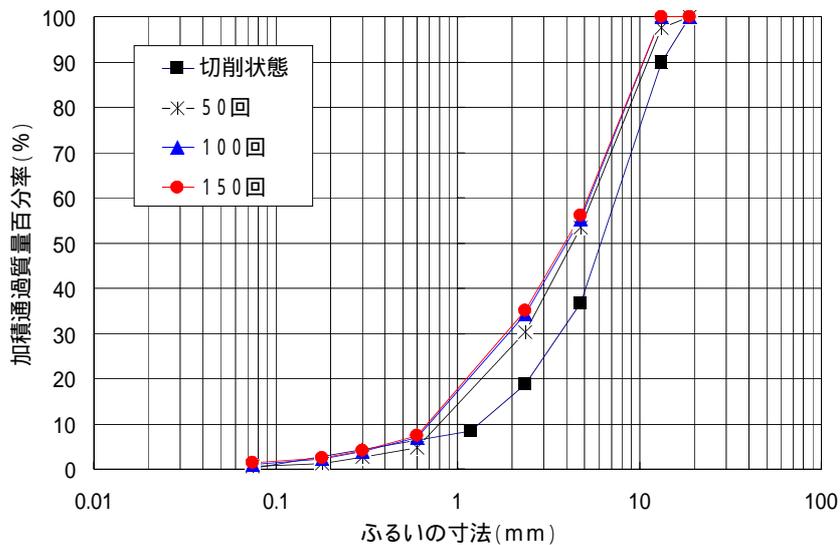


図 - 1 突固め回数と粒度の関係

と全試料中最も高値であり、次いで保水性舗装Bの70mg/kg、更に低騒音舗装Aおよび遮熱性舗装A(セメント系)の50mg/kgを示し、他3試料は50mg/kg未満であった。ただし、これらも基準値4000mg/kg以下に対し、満足するものであった。セレン、ヒ素についても定量下限値を上回って検出された試料も存在したが、基準値150mg/kgに比し1~2mg/kg検出されたに過ぎなく、全ての試料が土壌汚染対策法の基準値を満たしていた。

(3) 再生骨材への適用性の検討

再生プラントを想定して室内で試料を粉砕した。粉砕条件として、乾燥した切削材を1.0kg準備しCBR自動突固め試験器(荷重4.5kg、落下高45cm)で50回、100回および150回突固めた後、ふるい分け試験を行った。低騒音舗装Aの、各突固め後の粒度を図-1に

示す。図-1から100回以降は、極端な細粒化がないと判断し、突固め回数を100回として、粉砕試料を作製した。

1) 粒度等の試験結果

7種類の粉砕試料の粒度等の試験結果を表-11に示す。

粒度

環境舗装材の種類によって粒度は幾分異なるが、最大粒径 13mmで13~5mmの再生骨材となった。

骨材の微粒分量試験

各試料の微粒分量は、0.2~3.6%であった。低騒音舗装Aを基準とすると、保水性舗装B、NOx除去舗装B(樹脂系)および遮熱性舗装A(セメント系)がやや多く、2~3.5%であった。遮熱性舗装B(樹脂系)が0.2%と少ない値であった。

表 - 12 粉砕削材の最大混入率(再生粗粒度アスファルト混合物の場合)

環境舗装の種類	粉砕材の混入率%	ふるい通過質量百分率%								
		26.5mm	19	13.2	4.75	2.36	600μ	300μ	150μ	75μ
低騒音舗装A	30	100.0	100.0	98.8	87.5	52.6	34.7	26.9	3.5	3.5
保水性舗装A	45	100.0	100.0	98.8	87.5	32.8	20.9	21.3	3.1	3.5
保水性舗装B	50	100.0	100.0	98.8	87.5	42.6	27.9	21.3	4.1	3.5
NOx除去舗装A	45	100.0	100.0	98.8	87.5	34.4	22.0	21.3	3.3	3.5
NOx除去舗装B	55	100.0	100.0	98.8	87.5	46.6	30.7	21.3	3.3	3.5
遮熱性舗装A	45	100.0	100.0	98.8	86.7	31.7	20.5	21.3	3.2	3.5
遮熱性舗装B	45	100.0	100.0	98.8	87.5	45.8	28.1	21.3	3.9	3.5
再生粗粒度アスファルト混合物の粒度範囲	-	100	95~100	70~90	35~55	20~35	11~23	5~16	4~12	2~7

表 - 13 粉砕削材の最大混入率(再生密粒度アスファルト混合物(13)の場合)

環境舗装の種類	粉砕材の混入率%	ふるい通過質量百分率%							
		19mm	13.2	4.75	2.36	600μ	300μ	150μ	75μ
低騒音舗装A	30	100.0	98.5	69.1	44.2	23.6	15.9	9.0	5.9
保水性舗装A	40	100.0	99.0	58.6	39.9	26.0	17.1	9.5	5.9
保水性舗装B	50	100.0	99.4	64.6	48.0	25.1	16.6	9.5	6.1
NOx除去舗装A	45	100.0	99.4	60.9	45.8	27.0	17.7	9.9	6.1
NOx除去舗装B	55	100.0	99.3	65.6	48.0	27.2	17.9	9.8	6.2
遮熱性舗装A	40	100.0	99.4	60.8	44.0	27.0	17.6	8.7	5.8
遮熱性舗装B	45	100.0	99.4	67.8	41.4	27.5	18.4	9.4	6.0
再生密粒度アスファルト混合物の粒度範囲	-	100	95~100	55~70	35~50	18~30	10~21	6~16	4~8

絶乾密度および吸水率

絶乾密度は、2.54~2.61g/cm³であった。切削材の絶乾密度と同様に粉砕材も砕石に微粒分、細粒分が固着しているため内部に気泡を含み密度が小さい値となった。

吸水率は、各試料とも概ね1.0~1.3%で切削材の時に比べて増加した。バインダ等で皮膜していた砕石が粉砕し骨材の粉砕面がでたために吸水率がやや多くなったものと考えられた。

すりへり減量

すりへり減量は、概ね17~20%の値であり、切削材から幾分増加しているが、硬質な材料と判断され

た。

材料評価

粉砕した再生骨材を通常の骨材としてみると、最大粒径 13mmの13~2.5mmの骨材粒度である。7種類の再生骨材の品質は、東京都建設局土木材料仕様書の単粒度砕石1種の品質（絶乾密度2.45g/cm³以上、吸水率3.0%以下、すりへり減量35%以下）を満たすものであった。

2) 再生粗粒度アスファルト混合物への適用性

7種類の環境舗装発生材(粉砕材)が、再生粗粒度アスファルト混合物として使用できる粉砕材の最大混入率を求めたものを表 - 12に示す。再生プラントの粉砕機の種類によって粉砕材の粒度が幾分異なる

ると考えられるが、再生粗粒度アスファルト混合物として使用できる粉砕材の混入量は概ね30～55%可能であることがわかった。

3) 再生密粒度アスファルト混合物への適用性

7種類の環境舗装発生材(粉砕材)が、再生密粒度アスファルト混合物(13)として使用できる粉砕材の最大混入率を求めたものを表-13に示す。再生粗粒度アスファルト混合物と同様に、再生プラントの粉砕機の種類によって粉砕材の粒度が幾分異なると考えられるが、再生密粒度アスファルト混合物として使用できる粉砕材の混入量は概ね30～55%可能であることがわかった。

4) 発生ガス成分の測定

粉砕した発生材のうちの樹脂系を材料とするもの2種、低騒音舗装1種と低騒音舗装の新規1種の計4種を各2.5kg程度を骨材加熱ドライヤを想定した金属製容器内で加熱し、加熱時に発生するガスの成分を測定した。

煤塵

煤塵量の測定結果を表-14に示す。ここで、単位 g/m^3N は、標準状態(0、1気圧)における、煤塵量を示す。測定条件は、試料2.5kgを試料釜に取り蓋をした後、予め100に加熱された電気炉に入れ、100～300に昇温(約60分)、更に300を30分保持し、合計90分間に円筒ろ紙に吸引捕集された物質をここでは、煤塵量と称した。

各々の値は、90分間の発生量で、最も少ないのは低騒音舗装Bの2110mg/kgで、次いで遮熱性舗装B(樹脂系)2340mg/kg、低騒音舗装A2830mg/kg、最も多いのはNO_x除去舗装B(樹脂系)3240mg/kgであった。

ダイオキシン類等の測定

表-14で示した、ダイオキシン類毒性当量(TEQ: 単位 $ng-TEQ/m^3(N)$)は、最も毒性の強い2、3、7、8-四塩化ジベンゾ-パラ-ジオキシン(2、3、7、8-PCDD)の毒性に換算した量である。

実機プラントにおいては、ドライヤ内の加熱雰囲気700～800で約3～4分間再生骨材が滞留し、骨材温度は約160となる。本実験においては、電気炉の容積と加熱釜の電気炉への搬出入作業の安全上から炉内温度を300に設定した。

表-14 煤塵およびダイオキシン類の測定結果

測定項目	低騒音舗装A	低騒音舗装B	NO _x 除去舗装B	遮熱性舗装B
煤塵量(mg/90min/2.5kg)	2830	2110	3240	2340
煤塵量($g/m^3(N)$)	16.8	12.8	20.0	14.4
Totalダイオキシン類+コプラナPCB($ng-TEQ/m^3(N)$)	5未満	5未満	5未満	5未満

また、釜内の試料温度は160～170になる時間帯で発生してくるガスを採取するものとした。測定の結果、4試料ともダイオキシン類およびコプラナPCBの総TEQ濃度は、5 $ng-TEQ/m^3(N)$ 未満であり、定量下限値以下であった。

アルデヒド類および炭化水素類

アルデヒド類および炭化水素類のガス検知管法による測定結果を表-15に示す。各々の成分濃度は、各測定対象の検知管が示した変色帯を直読したものであり、他成分による影響は考慮していない。

低騒音舗装Aおよび低騒音舗装Bのエチレン濃度は他のガス成分の影響を強く受けており測定不可能であった。

環境舗装材の使用材料は、碎石、砂、石粉(炭酸カルシウム)およびバインダから構成されているものであり、碎石、砂、石粉を加熱しても発生ガスの中には、アルデヒド類は含まない。従って、発生ガスの成分は、使用バインダが加熱して発生するものである。200までの発生ガスは4試料ともホルムアルデヒド、アセトアルデヒド、アクロレインが検出され、低騒音舗装Aと比較すると他の3試料はホルムアルデヒドが幾分多く検出された。300になるとアクロレインが他の2成分より多く検出された。200のときの検出量の6～30倍であった。また、低騒音舗装Aと比較すると他の3試料ともアクロレインの検出量が多い結果となった。

遮熱性舗装B、NO_x除去舗装Bで使用された樹脂成分の分解が進行している可能性が示唆された。

発生ガス成分4種類の炭化水素類(メタクリル酸メ

表 - 15 アルデヒド類および炭化水素類測定結果

項目	環境舗装の種類	低騒音舗装A		低騒音舗装B		NOx除去舗装B		遮熱性舗装B	
	加熱温度	200	300	200	300	200	300	200	300
アルデヒド類	ホルムアルデヒド	20	200	44	72	40	68	36	88
	アセトアルデヒド	35	160	40	140	35	150	35	160
	アクロレイン	35	200	30	400	22	400	25	750
炭化水素類	メタクリ酸メチル	25	240	20	230	20	260	30	200
	エチレン	800以上	800以上	600	25	100	4000	200	10000
	ベンゼン	0.5以下	15	0.5以下	5	0.5以下	8	0.5以下	25
	スチレン	4	10	10	13	15	80	20	160
	トルエン	0.5以下	0.5以下	0.5以下	10	1	5	1	10

メチル、ベンゼン、スチレンおよびトルエン)は、200 まででメタクリル酸メチル、スチレンが他の2成分より多く検出された。また、300 では、メタクリル酸メチルが4試料とも多く検出され、遮熱性舗装B(樹脂系)、NOx除去舗装B(樹脂系)はスチレンも比較的多く検出され200 の濃度の約10倍であった。

200 までのエチレンは、低騒音舗装Aが他の3試料よりも多く検出された。また、300 では、遮熱性舗装B(樹脂系)およびNOx除去舗装B(セメント系)が低騒音舗装Bよりも多く検出され200 に比べて約40~50倍であった。

また、低騒音舗装材Aのエチレン濃度は検知管が他のガス成分の影響により、希釈したにもかかわらず、突然変色を呈すなどの挙動を示し、800ppm以上の測定は、出来なかった。

一酸化炭素および二酸化炭素

一酸化炭素および二酸化炭素濃度測定結果を図 - 2、3に示す。測定は、加熱試料釜からの発生ガスを一旦捕集バックに採取した後、赤外線ガス分析装置にガスを導入し測定した。

一酸化炭素の発生は、各試料とも200 を超えたあたりから急激な増加傾向を示し、300 でピークとなった。300 に到達した状態から15分後の濃度が300 上昇直後の濃度或いは濃度が低下していたことから、温度を更に上げることにより一酸化炭素濃度も上昇するものと推測された。一酸化炭素の300 到達直後における濃度は、低騒音舗装A：5050ppm > 遮熱性舗装B：4930ppm > 低騒音舗装B：3850ppm > NOx除去舗装B：3380ppmの順であった。二酸化炭素も温度上昇とともに増加傾向を示し250

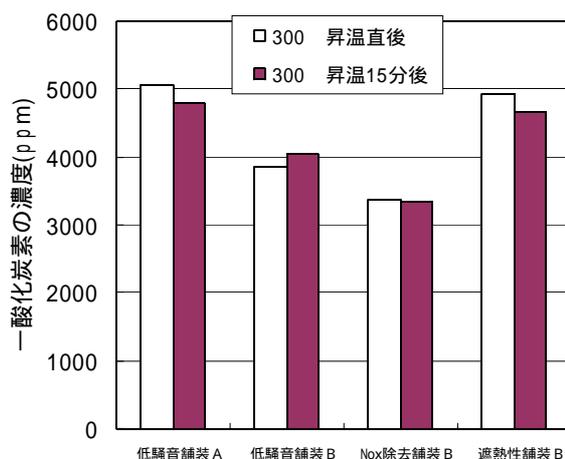


図 - 2 一酸化炭素の濃度

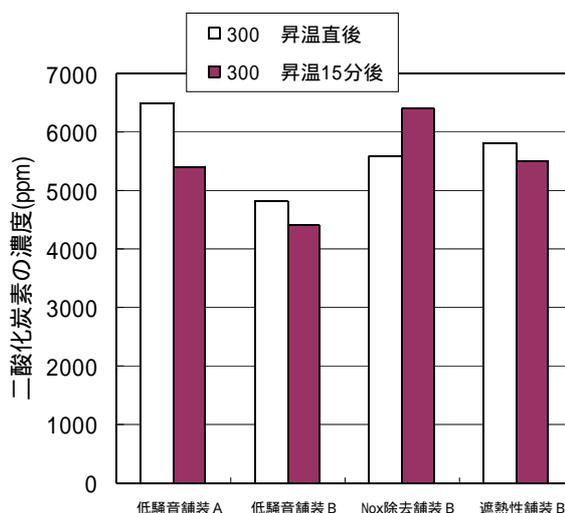


図 - 3 二酸化炭素の濃度

付近で1300~3300ppm、300 で4400~6500%に上昇し、300 に保持した状態では低下した。この傾向は一酸化炭素と同様の挙動を示していた。一酸化炭

素および二酸化炭素が温度の上昇に伴い急増する要因が、アスファルト成分および添加剤成分が熱分解することで発生するのか、または、無攪拌状態で加熱していることによる自己発熱により試料の一部が300以上上昇し酸化反応が進行したのか、他の要因により発生するのかが不明であった。

4. まとめ

環境舗装材料として、低騒音舗装2種、保水性舗装(鉱物質)2種、NO_x除去舗装(セメント系および樹脂系)、遮熱性舗装(セメント系および樹脂系)の合計8種類をとりあげ、今後の補修時における発生材の再生に関する調査を行った。その結果をまとめると次のとおりである。

小型切削機を使用時の切削時における粉塵測定は、どの環境舗装材も粉塵濃度は計測されたが、作業環境測定基準の2.9mg/m³以下であった。

小型切削機で切削した切削材(発生材)は、ふるい分け、骨材の微粒分量、絶乾密度、吸水率およびすりへり減量試験の結果、通常の骨材の性状値と変わらず、道路舗装材の上層・下層路盤材として使用する再生材の品質に問題はなく、十分に適用できるものと判断された。

小型切削機で切削した切削材(発生材)は、再生材として下層路盤に概ね35~45%混入可能であることがわかった。また、再生材として上層路盤に概ね45~50%混入可能であることがわかった。

小型切削機で切削した切削材(発生材)の重金属等の含有量試験結果は、有害物質10項目の全てが基準値を大幅に下回っていた。

7種類の切削材を粉砕した再生骨材の品質は、東京都建設局土木材料仕様書の単粒度碎石1種の品質(絶乾密度2.45g/cm³以上、吸水率3.0%以下、すりへり減量35%以下)を満たすものであった。

再生粗粒度アスファルト混合物として使用できる切削材を粉砕した再生骨材の混入量は概ね30~55%可能であることがわかった。また、再生密粒度アスファルト混合物として使用できる切削材を粉砕した再生骨材の混入量は概ね30~55%可能であることがわかった。

低騒音舗装A、B、遮熱性舗装B(樹脂系)およびNO_x除去舗装B(樹脂系)の4試料ともダイオキシン類およびコプラナPCBの総TEQ濃度は、5ng - TEQ/m³(N)未満であり定量下限値以下であった。

低騒音舗装A、B、遮熱性舗装B(樹脂系)およびNO_x除去舗装B(樹脂系)の4種類の環境舗装材の粉砕材を室内で加熱した結果、4試料ともアルデヒド類(ホルムアルデヒド、アセトアルデヒド、アクロレイン)および炭化水素類(メタクリル酸メチル、エチレン、ベンゼン、スチレンおよびトルエン)が検出された。加熱温度200よりも300の方が検知量が多い結果となった。

低騒音舗装A、B、遮熱性舗装B(樹脂系)およびNO_x除去舗装B(樹脂系)の4種類の環境舗装材の粉砕材の加熱発生ガスの成分分析においては、じんあい量、アルデヒド類および炭化水素類、一酸化炭素、二酸化炭素が検出された。全てn=1回の測定結果であるので、さらに測定値の精度を上げるために数回の測定が必要である。特にダイオキシン類等の測定に関しては、室内試験条件ではダイオキシン類毒性当量(TEQ)は5ng - TEQ/m³(N)未満で検出できなかったが、試験条件の設定等に検討課題があると考えられる。実際のアスファルトプラントにおける再生骨材の乾燥状況の一例をあげると、ドライヤのなかでは700~800の熱風で3~4分間攪拌されながら移動しサージビンに保存される。そのときの再生骨材の温度は、約160である。従って、室内試験条件と実際のアスファルトプラントによる加熱条件とは大きく異なるため、環境舗装発生材を加熱することにより発生してくるガス成分の挙動や発生濃度を計測するには、実際のアスファルトプラントでの測定方法等を確立した上で繰返し測定し、再現性を高めることが必要と考えられる。

5. あとがき

環境舗装材料の今後の維持補修に当たっての切削発生材の品質については、通常の骨材と変わらず特に問題ないことがわかった。また、室内試験の再生骨材の加熱試験からは、発生ガスの成分が測定できた。今後、再生路盤材としての強度試験(修正CBR試

験等)および再生骨材として利用した場合の再生アスファルト混合物の強度等を検討しリサイクル材としての有効利用を提示してきたいと考えている。

参 考 文 献

- 1) 峰岸順一、竹田敏憲：二層式低騒音舗装の上下層の最適な組み合わせに関する検討、東京都土木技術研究所年報、p65-76、2003.9
- 2) 峰岸順一、小林一雄、竹田敏憲：保水性舗装の路面温度低減機能の持続性と路面性状、東京都土木技術研究所年報、p75-86、2004.9
- 3) 小林一雄、峰岸順一、竹田敏憲：遮熱性舗装の路面温度低減効果と供用性能 - 民間との共同実験による検討 -、東京都土木技術研究所年報、p87-98、2004.9
- 4) 峰岸順一、小林一雄：光触媒を用いた舗装のNO_x除去性能の評価、東京都土木技術研究所年報、p37-46、2005.9