

下水汚泥焼却灰のアスファルト混合物用 フィラーとしての利用に関する研究

UTILIZATION OF SEWAGE SLUDGE ASH AS FILLER FOR ASPHALT MIXTURE

能勢元昭*・田中良穂**・山田 優***・貫上佳則****

by Motoaki NOSE, Yoshiho TANAKA, Masaru YAMADA and Yoshinori KANJO

1. はじめに

我が国の下水道の普及率は着実に伸び、それに伴って下水汚泥の発生量は増加し、現在、全国で乾燥質量にして170万tを超える下水汚泥が発生する。その大部分を、焼却処理して埋立処分してきたが、埋立処分地の延命だけでなく、下水処理コストの削減のために、埋立処分しないで有効利用することが必要である。神戸市では、1986年から下水汚泥を流動床炉により焼却して減量化しているが、さらに焼却灰の有効利用についても積極的な取り組みを行っている。

下水汚泥の有効利用方法としては、下水汚泥中の有機物および肥料成分の土壌改良材としての利用、焼却または高温熔融処理後の無機物の建設材料としての利用などがあり、これまで各地で種々検討が行われてきた¹⁾。神戸市では、年間発生量約5000tの下水汚泥焼却灰のうち、現状でも約30%を有効利用している。用途については、1960年代からの長期にわたる検討、試行の結果、1999年度において表1に示すような内訳となっている。インターロッキングブロックの原料、シールド工法における下水管中詰め材、土壌改良材としての利用もあるが、道路舗装用アスファルト混合物のフィラーとしての利用が最も多く、有望な用途と考えられる²⁾。

表1 神戸市における下水汚泥焼却灰の利用用途と利用量(1999年度)

利用用途	利用量(t)
アスファルト混合物用フィラー	768
インターロッキングブロックの原料	237
シールド工法下水管中詰め材	462
土壌改良材	107
計	1,574

* 神戸市建設局下水道河川部計画課主幹(当時)、
** 同 主査(〒650-8570 神戸市中央区加納町6-5-1)、
*** 大阪市立大学工学部環境都市工学科教授、
**** 同助教授(〒558-8585 大阪市住吉区杉本3-3-138)

道路舗装用アスファルト混合物は、一般に骨材としての碎石・砂とバインダーとしてのアスファルトに、フィラーとして石粉を全質量の4~8%程度添加し、それらを加熱混合して製造される。フィラーとしての石粉には、通常、石灰岩を粉砕したものをを用いている³⁾。神戸市では、1992年度より、この石粉の一部を下水汚泥焼却灰で代替させることについて検討を始め、1993年度と1994年度には直営による試験施工も実施した。その結果、フィラーとしての利用の可能性を見いだしたが、神戸市の全道路での本格的な使用に向け、下水汚泥焼却灰入りアスファルト混合物の長期的な耐久性、環境保全面での安全性を含む舗装への適用性など、下水汚泥焼却灰のアスファルト混合物用フィラーとしての利用に関する詳しい技術的検討を1998年度より行っている。以下は、1998年度の検討結果である。

2. 室内実験による検討

2.1 実験材料

1) 下水汚泥焼却灰

本研究に用いた下水汚泥焼却灰(以下、焼却灰という)は、神戸市内の7箇所の下水処理場から出た下水汚泥の脱水ケーキを同市の東部スラッジセンターで焼却して発生したもので、流動床炉におけるサイクロンと電気集塵機による捕集物である。また、下水汚泥の脱水には、高分子凝集剤と塩化第2鉄を使っている。そのため、焼却灰は粉末状で茶褐色を呈している。

2) その他のアスファルト混合物用材料

各材料の種類と産地等を表2に示す。

2.2 焼却灰の基本物性

焼却灰の物理的性質の試験結果を石粉の試験結果およびアスファルト舗装要綱で規定している規格値または目標値と対比させて表3に示す。

各ふるいの通過質量百分率は石粉よりも、また規格値よりも小さい。すなわち、粒度が粗く、規格を満足しない。フロー試験値も目標値よりも大きく、

表2 実験に用いたアスファルト混合物用材料

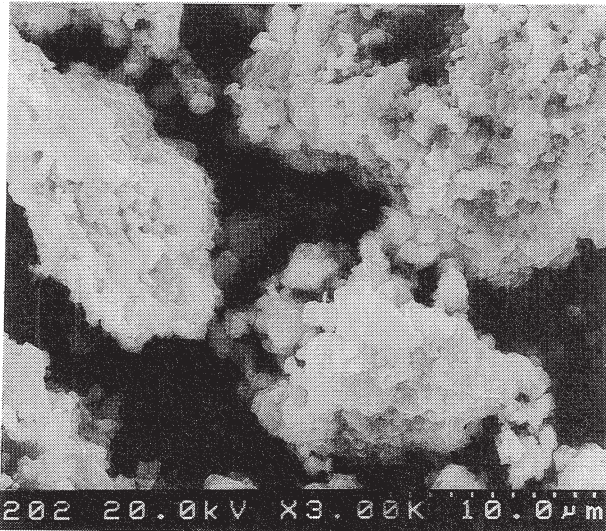
材料の種類	産地等
粗骨材	6号砕石
	7号砕石
細骨材	スクリングス
	砂
フィラー	石粉
	焼却灰
バインダ	60/80ストレートアスファルト
	三菱石油製

アスファルトを吸収しやすいことを表している。これは、写真1の焼却灰と石粉の粒子の電子顕微鏡写真を比較すると分かるように、焼却灰は表面に細かな凹凸が多くあり、比表面積が大きいためと考えられる。

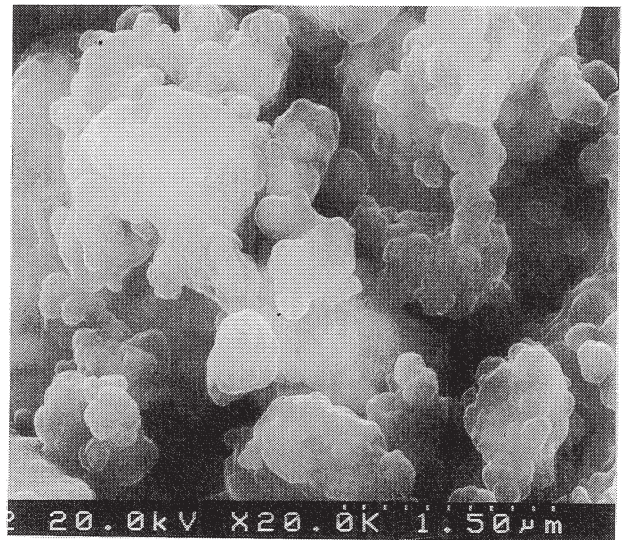
表3 焼却灰と石粉の物理的性質

項目	焼却灰	石粉	規格値・目標値
通百	2.36mmふるい	100.0	—
過分	600μmふるい	99.6	100.0
質率	300μmふるい	98.7	99.9
量	150μmふるい	83.7	98.0
	75μmふるい	70.1	83.5
(%)			90~100
比重	2.831	2.734	—
塑性指数(PI)	NP	—	4以下
水分(%)	0.1	0.1	1以下
水浸膨張性(%)	1.22	—	3以下
剥離抵抗性	合格	—	合格
70-試験値(%)	72.0	—	50以下

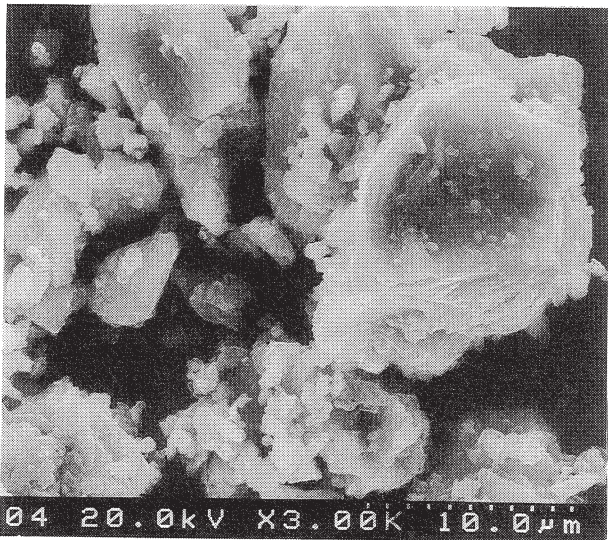
注) 規格値・目標値のうち、粒度(通過質量百分率)は規格値、その他は目標値である。



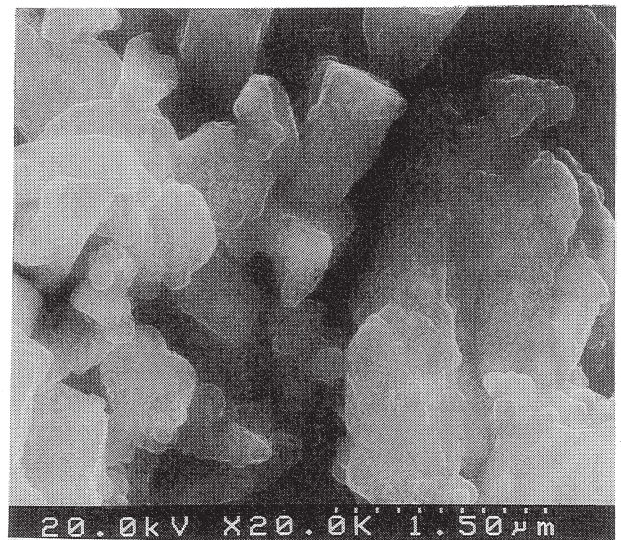
焼却灰 (×3000)



焼却灰 (×20000)



石粉 (×3000)



石粉 (×20000)

写真1 焼却灰と石粉の電子顕微鏡写真

表4 焼却灰の粒度の変動状況

ふるい寸法 (μm)	ふるい通過質量百分率 (%)	
	1997年度	1998年度
600	99.8~100.0 平均100.0	92.5~100.0 平均 99.4
150	81.2~91.9 平均 81.8	58.1~87.9 平均 81.2
75	56.4~79.7 平均 60.3	51.7~80.3 平均 67.8
検体数	5	15

表5 焼却灰と石粉の化学組成

成分	焼却灰	石粉
SiO ₂	23.7	0.87
Al ₂ O ₃	12.6	0.17
CaO	15.9	53.92
MgO	3.0	0.95
Fe ₂ O ₃	17.9	0.20
P ₂ O ₅	19.3	—
熱灼減量	0.4	43.88

これより、焼却灰をフィラーとして用いた場合、粒度については細骨材にも含まれる細粒分により、ある程度調整が可能であるが、焼却灰がアスファルトを通常よりも多く吸収するため、その分だけ必要アスファルト量が増加することは避けられないと予想できる。

また、1997年度に採取した5検体および1998年度に採取した15検体の粒度試験結果から、ふるい通過百分率の変動範囲と平均値を表4に示すが、焼却灰の粒度はかなり変動することが分かる。

以上のことから、焼却灰をフィラーとして利用する場合には、フィラーの全量を焼却灰とするのではなく、石粉と混合して使用することが望ましいといえる。

なお、表5に焼却灰と石粉の化学組成を示す。成分比率はかなり異なるが、アスファルト混合物の品質に対しての悪影響はないと考えられる。

2.3 焼却灰入りアスファルト混合物の配合

前記の焼却灰の試験結果から焼却灰を石粉と混合して使用することが望ましい。混入率は、後記するとおり45%にして施工された実績もあるが、30%程度とするのが安全と考え、アスファルト混合物としての検討においては、これを基本にして焼却灰の割合を0%、30%および100%の3種類とした。また、アスファルト混合物の種類は、最もよく用いられている最大粒径13mm密粒度アスファルト混合物とした。

表6 骨材配合比と合成粒度

焼却灰：石粉の比		0：100	30：70	100：0	
骨材配合比 (%)	6号砕石	40	40	40	
	7号砕石	17	17	17	
	スリ-ニングス	12	12	12	
	砂	26	26	26	
	石粉	5	3.5	0	
焼却灰	0	1.5	5	規格値	
通過質量百分率 (%)	19.0 mm	100	100	100	100
	13.2 mm	99.2	99.2	99.2	95~100
	4.75 mm	62.6	62.6	62.6	55~70
	2.36 mm	40.7	40.7	40.7	35~50
	0.60 mm	22.7	22.9	22.9	18~30
	0.30 mm	15.4	15.4	15.3	10~21
	0.15 mm	8.6	8.4	7.9	6~16
0.075 mm	6.5	6.3	5.8	4~8	

表7 マーシャル安定度試験結果

焼却灰の割合 (%)	アスファルト量 (%)	密度 (g/cm ³)	空隙率 (%)	飽和度 (%)	安定度 (kg)	70-値 (mm)	基準値 (AS量) (%)	左記の中央値 (%)
0	4.5	2.34	6.7	60.1	850	21	5.10 ~ 6.10	5.60
	5.0	2.36	5.3	68.0	880	25		
	5.5	2.37	4.1	75.3	900	29		
	6.0	2.38	3.1	81.5	940	35		
	6.5	2.37	2.6	85.1	930	38		
30	4.5	2.32	7.4	57.7	770	22	5.30 ~ 6.50	5.90
	5.0	2.34	6.1	64.7	820	23		
	5.5	2.35	4.9	71.7	860	23		
	6.0	2.36	4.0	77.3	880	25		
	6.5	2.36	3.0	83.1	890	26		
100	5.0	2.29	8.0	57.9	750	26	5.85 ~ 7.15	6.50
	5.5	2.31	6.7	64.6	760	27		
	6.0	2.32	5.5	70.9	800	28		
	6.5	2.33	4.5	76.4	810	28		
	7.0	2.34	3.3	82.7	820	29		
基準値	—	—	3~6	70~85	750以上	20~40		

その骨材粒度規格範囲の中央粒度を目標として決定した骨材配合比とそのときの合成粒度を表6に示す。焼却灰の粒度は石粉に比べて粗いが、骨材配合比を調整することにより、表に示すように3種類とも、ほぼ等しい粒度となり、また規格値の範囲の合成粒度にすることができた。

次に、3種類の骨材配合でアスファルト量を5段階に変えて75回突固めで混合物を作製して空隙率等を

表8 動的安定度、残留安定度および剥離率の試験結果

焼却灰の割合 (%)	動的安定度(回/mm)	残留安定度 (%)	剥離率 (%)
0	1370	97.8	5.5
30	1103	96.6	6.0
100	897	96.3	6.7
(規格値)	(840以上)	(75以上)	—

表9 重金属類の含有量試験結果(単位: mg/kg)

項目	焼却灰(単体)	アスファルト混合物		
		焼却灰0%	30%	100%
カドミウム	4.7, 5.2	<1	<1	<1
鉛	120, 114	11, 14	94, 218	38, 21
六価クロム	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
砒素	21, 19	7.9, 2.2	5.9, 2.2	7.3, 3.2
総水銀	0.03, 0.08	<0.01, 0.01	<0.01, 0.01	0.01, 0.01
セレン	0.51, 2.5	<0.5	<0.5	<0.5

試験し、基準値を満足するアスファルト量の範囲およびその中央値を求めると、表7に示すとおりとなった。この中央値を最適アスファルト量とすると、焼却灰の割合が大きくなるほど、必要アスファルト量が多くなるのが分かる。これは、前記のとおり、焼却灰の比表面積が大きいためと考えられる。

2.4 焼却灰入りアスファルト混合物の耐流動性と剥離抵抗性

フィラー中の焼却灰の割合が異なる3種類のアスファルト混合物について、舗装に適用したときの耐流動性と剥離抵抗性を検討するため、前項で示した中央値のアスファルト量で混合物供試体を作製し、ホイールトラッキング試験による動的安定度、水浸マーシャル試験による残留安定度、水浸ホイールトラッキング試験による剥離率を試験した。その結果を表8に示す。焼却灰の混入割合が増加するに従い、動的安定度および残留安定度は減少した。ただし、いずれも規格値は満足している。また、剥離率も増加する傾向を示したが、わずかな変化であった。すなわち、焼却灰の混入により、耐流動性と剥離抵抗性は低下することになるが、フィラーに100%混入したとしても許容できる範囲の低下であるといえる。

2.5 重金属類溶出についての安全性

焼却灰に含まれる可能性のある有害物質は重金属類とダイオキシン類であると予想されるが、後者については含有量の定期試験から0.1~2pg-TEQ/gで土壤環境基準の1000pg-TEQ/gに比較して十分に低いこ

表10 重金属類の溶出試験結果(単位: mg/l)

項目	焼却灰(単体)	アスファルト混合物			土壤環境基準値 ^(注)
		焼却灰0%	焼却灰30%	焼却灰100%	
カドミウム	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.03
鉛	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	0.03
六価クロム	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	0.15
砒素	<0.005	0.011	0.014	—	0.03
	<0.005	0.005	0.015	<0.005	
	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	
総水銀	<0.0015	<0.0015	<0.0015	<0.0015	0.0015
セレン	<0.005	<0.005	<0.005	—	0.03
	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	
	0.007	<0.005	<0.005	<0.005	

注) 土壤環境基準値は、舗設位置が道路の最上部であり、地下水から明確に離れている場合の基準値である。

とが確認できている。本研究では、重金属類の溶出について安全性を検討した。

焼却灰およびフィラー中の焼却灰の割合が異なる3種類のアスファルト混合物について、王水分解前処理による重金属類の含有量試験および平成3年の環境庁告示46号「土壤の汚染に係る環境基準について」に定める方法による重金属類の溶出試験の結果を表9および表10に示す。前者の試験については2回、後者の試験については3回、焼却灰の採取時期を変えて実施し、試験値が異なる場合はそれらの値を示した。

表9に示すとおり、焼却灰の含有量試験では、カドミウム、鉛、砒素、総水銀およびセレン、アスファルト混合物においても鉛、砒素および総水銀が検出された。しかし、表10から分かるように、溶出試験では、砒素とセレンのみが検出され、またその量は土壤環境基準値以下であった。

3. 試験施工による検討

3.1 施工場所と舗装構造

施工場所は神戸市の主要地方道明石・神戸・宝塚線のひよどり台5丁目地先の約230mの道路区間である。その片側、幅2.9mの走行車線に焼却灰30%混入のフィラーを用いた13mm密粒度アスファルト混合物、幅3.8mの追越車線に焼却灰を混入しない石粉100%のフィラーを用いた13mm密粒度アスファルト混合物を表層切削オーバーレイ補修工法により施工した。

交通量調査の結果では、昼間12時間の全交通量および大型車交通量は走行車線で5,891台および347台、追越車線で5,386台および339台であり、両車線の交通条件の違いは小さく、それぞれに施工した混合物の追跡調査による供用性比較には支障がないと

表層 5cm厚 (この層を切削して試験施工)
基層 10cm厚 (以下既設舗装のまま)
密粒度アスファルト混合物
上層路盤
15cm厚
水硬性粒度調整鉄鋼スラグ
下層路盤 10cm厚
クラッシュラン (C-40)
路床土

図1 試験施工区間の舗装構造

判断された。

試験施工区間の舗装断面は図1に示す層構造になっており、既設舗装の表層、厚さ5cmを切削して混合物を同じ厚さに舗装した。

なお、既設舗装のわだち掘れ量は走行車線で最大28mm、平均13mm、追越車線で最大34mm、平均14mmであった。また、ひびわれ率は走行車線で3.1%、追越車線で5.5%であった。この区間の交通量は前記したとおり、舗装構造設計上の交通区分はB交通であるが、わだち掘れやひび割れが生じる可能性のある舗装構造であることから、試験施工後の舗装の供用性評価に適した区間であるといえる。

3.2 試験施工に使用した混合物

室内実験による検討の結果から、焼却灰をフィラー中に30%混入であれば、アスファルト混合物の品質におよぼす影響は小さく、焼却灰をフィラーの一部に使用が可能と判断し、焼却灰30%入りフィラーおよび石粉100%のフィラーを使用した2種類の13mm密粒度アスファルト混合物を施工した。原材料は室内実験と同じで、表2のとおりである。

焼却灰30%フィラー使用混合物および石粉100%フィラー使用混合物の配合設計と製造した混合物の試験結果をそれぞれ表11および表12に示す。製造した混合物の通過質量百分率とアスファルト量の値は、製造後の混合物の溶剤を用いた抽出試験により求めた結果である。両混合物とも、ほぼ配合設計どおりの粒度とアスファルト量で製造され、また密度も配合設計時の決定値すなわち基準密度になることを確認した。

3.3 試験施工の結果

試験施工においても、両混合物で施工性の違いは見られなかった。表13は施工直後の路面ならびに舗装から切り取った混合物とその混合物から回収した

表11 プラントでの混合物の試験結果
(走行車線への舗装混合物)

混合物の種類		13mm密粒度アスファルト混合物(焼却灰30%フィラー使用)		
試験時期		配合設計時の決定値	製造した混合物の試験値	
通過質量百分率 (%)	19.0 mm	100.0	100.0	100.0
	13.2 mm	99.4	99.6	99.4
	4.75 mm	62.4	62.5	62.1
	2.36 mm	40.7	43.0	41.5
	0.60 mm	23.1	24.3	23.9
	0.30 mm	15.6	16.5	16.6
	0.15 mm	8.3	8.6	8.7
	0.075 mm	6.4	6.7	6.4
	アスファルト量 (%)		5.90	5.83
密度 (g/cm ³)		2.350	2.351	2.349

表12 プラントでの混合物の試験結果
(追越車線への舗装混合物)

混合物の種類		13mm密粒度アスファルト混合物(石粉100%フィラー使用)		
試験時期		配合設計時の決定値	製造した混合物の試験値	
通過質量百分率 (%)	19.0 mm	100.0	100.0	100.0
	13.2 mm	99.4	99.5	99.2
	4.75 mm	62.4	63.0	62.4
	2.36 mm	40.7	42.1	41.3
	0.60 mm	23.1	25.7	26.2
	0.30 mm	15.6	17.8	16.3
	0.15 mm	8.5	8.6	8.7
	0.075 mm	6.6	6.5	6.6
	アスファルト量 (%)		5.60	5.59
密度 (g/cm ³)		2.370	2.371	2.369

表13 施工直後の路面ならびに混合物の性状

車線		走行	追越	
焼却灰の割合 (%)		30	0	
路面性状の試験値	平坦性 (mm)	1.51	1.21	
	すべり抵抗値, BPN	62	64	
施工直後に切り取った混合物の試験値	密度 (g/cm ³)	2.297	2.276	
	締固め度 (%)	97.7	96.0	
混合物の試験値	厚さ (cm)	4.3	3.1	
	動的安定度(回/mm)	1060	720	
回収アスファルトの試験値	針入度 (1/10mm)	45	47	
	軟化点 (°C)	55.5	53.5	
		60°C粘度 (poise)	5220	4890

表14 施工直後切り取り混合物の重金属類の含有量試験ならびに溶出試験結果

試験の種類	含有量(mg/kg)		溶出量(mg/l)		
	走行	追越	走行	追越	注)
車線					
焼却灰(%)	30	0	30	0	基準値
カドミウム	<1	<1	<0.001	<0.001	0.03
鉛	26	31	<0.005	<0.005	0.03
六価クロム	<0.5	<0.5	<0.01	<0.01	0.15
砒素	6.1	5.0	<0.005	<0.005	0.03
総水銀	<0.01	<0.01	<0.0005	<0.0005	0.0015
セレン	<0.5	<0.5	<0.005	<0.005	0.03

注) 表中の基準値は、舗設位置が道路の最上部であり、地下水面から明確に離れている場合の土壤環境基準値である。

アスファルトの試験結果を示す。

焼却灰30%フィラー使用の混合物を施工した走行車線の平坦性は、焼却灰0%フィラー使用の混合物を施工した追越車線に比較して若干大きい値であったが、その差は小さく、また規格の2.4mm以下を十分に満足する値であった。振り子式スキッドレジスタンステスターによる路面のすべり抵抗値(BPN)もほぼ同程度で一般的な値を示した。

施工直後の切り取り混合物の密度試験の結果から計算した締固め度も、両混合物で大きな差はなく、また規格の94%を十分に満足する値であった。動的安定度は室内試験とは異なり、むしろ焼却灰入り混合物のほうが高い値を示した。

混合物から回収したアスファルトの針入度の試験結果は、配合設計時を基準とする針入度比が約65~70%で、製造時における熱劣化の度合いは一般的な程度であったことが分かる。

なお、表14は施工直後の切り取り混合物について重金属類の含有量試験および溶出試験を行った結果である。室内実験の時と同様、含有量試験では鉛と砒素が検出されたが、溶出量試験では全項目について検出限界以下で土壤環境基準に適合した。

4. 既設舗装の調査による検討

4.1 調査箇所の概要

調査箇所は、表15に示すとおり、神戸市の主要地方道唐櫃・灘線の鶴甲4丁目地先の約210mの区間で、1997年7月、その片側2車線の表層に3種類の混合物が舗設された。舗設後1年余り経過した路面の性状を調査するとともに、表層混合物のコア採取と舗装表面残渣採取による混合物の安全性を調査した。

同区間の交通量の調査結果は表16のとおりで、舗装構造設計上の交通区分はC交通である。

表15 既設舗装調査箇所とその表層混合物

工区番号	1	2	3
工区の長さ×幅	78m×6.0m	70m×6.0m	68m×6.0m
混合物の種類	13mm密粒度アスファルト混合物		
焼却灰混入率*	100%	45%	0%

* 混合物中のフィラーへの焼却灰混入質量百分率

表16 既設舗装調査箇所区間の交通量

調査項目	走行車線	追越車線
全交通量(台/12h)	2,633	4,830
大型車交通量(台/12h)	802	732
大型車混入率(%)	30.5	15.2

注) 交通量は7:00~19:00の12時間交通量

表17 既設舗装の路面性状

車線	走行車線			追越車線		
	1	2	3	1	2	3
工区番号	1	2	3	1	2	3
焼却灰混合率	100	45	0	100	45	0
平坦性(mm)	2.39	2.07	1.83	2.26	1.41	1.64
わだち掘れ量(mm)	7.0	4.5	10.8	5.5	4.5	13.0
ひびわれ率(%)	1.6	4.8	0.0	0.0	1.3	0.0
すべり抵抗値,BPN	61	55	55	63	62	63

4.2 調査結果

1) 路面性状調査

路面性状の調査結果を表17に示す。

平坦性については、焼却灰100%の1工区が最も悪く、焼却灰45%の2工区と0%の3工区はほぼ同等であった。

わだち掘れ量については、焼却灰0%の3工区が最も大きく、次いで100%の1工区、45%の2工区の順であった。一方、ひび割れ率については、それとは逆の順位で大きかった。

すべり抵抗値(BPN)については、追越車線では各工区ほぼ同じ値であったが、走行車線では、焼却灰45%の2工区と0%の2工区がやや小さい値であった。

このように、この調査からでは各工区の優劣をつけがたい。さらに追跡調査を続ける必要がある。

2) 安全性評価調査

表層混合物コアの重金属類の含有量試験および溶出試験の結果を表18に示す。含有量試験では砒素が検出されたが、溶出量試験では全項目について検出限界以下で土壤環境基準に適合した。

また、表19に舗装表面残渣の重金属類の含有量試験および溶出試験の結果を示す。舗装表面残渣は、長期間降雨がない時期を選んで、電気掃除機で捕集したものである。含有量試験では鉛、砒素および総水銀が検出された。しかし、焼却灰の混入率との関

表18 既設舗装混合物コアの重金属類の含有量試験および溶出試験結果

試験の種類	含有量(mg/kg)			溶出量(mg/l)			注)
	1	2	3	1	2	3	
工区							基準値
焼却灰(%)	100	45	0	100	45	0	
カドミウム	<1	<1	<1	<0.001	0.002	<0.001	0.03
鉛	<10	<10	<10	<0.005	<0.005	<0.005	0.03
六価クロム	<0.5	<0.5	<0.5	<0.01	<0.01	<0.01	0.15
砒素	3.1	4.6	3.0	<0.005	0.006	<0.005	0.03
総水銀	<0.01	<0.01	<0.01	<0.0005	<0.0005	<0.0005	0.0015
セレン	<0.5	<0.5	<0.5	<0.005	<0.005	<0.005	0.03

注) 表中の基準値は、舗設位置が道路の最上部であり、地下水水面から明確に離れている場合の土壤環境基準値である。

表19 既設舗装表面残渣の重金属類の含有量試験および溶出試験結果

試験の種類	含有量(mg/kg)			溶出量(mg/l)			注)
	1	2	3	1	2	3	
工区							基準値
焼却灰(%)	100	45	0	100	45	0	
カドミウム	<1	<1	<1	—	—	—	0.03
鉛	100	31	130	<0.005	<0.005	<0.005	0.03
六価クロム	<0.5	<0.5	<0.5	—	—	—	0.15
砒素	4.9	6.1	4.5	<0.005	<0.005	<0.005	0.03
総水銀	0.019	0.024	0.14	<0.0005	<0.0005	<0.0005	0.0015
セレン	<0.5	<0.5	<0.5	—	—	—	0.03

注) 表19と同じ

係は見られない。また、それらの項目についての溶出試験では、いずれも検出限界以下で土壤環境基準に適合した。

5. まとめ

本研究の結果、下水汚泥焼却灰（以下、焼却灰）ならびに焼却灰をフィラーに用いたアスファルト混合物について、次のことが言える。

(1) 焼却灰は、アスファルト混合物のフィラーに一般的に用いている石粉に比べて粗く、石粉の規格を満足しない。

(2) 焼却灰はフロー試験値も大きく、アスファルトを吸収しやすい。それは、焼却灰が石粉に比べて粒子の表面に細かな凹凸が多いためである。

(3) 以上のことと焼却灰の粒度が発生時期によって変動する可能性があることから、フィラーとして用いる場合、その全量でなく、通常使用している石粉と混合して用いることが望ましい。

(4) 焼却灰の粒度は石粉に比べて粗いが、骨材の配合比を調整することにより、焼却灰100%使用であっても骨材とフィラー全体の合成粒度を規格値の範囲内にすることは可能である。

(5) マーシャル安定度試験によって求まる最適アスファルト量は、焼却灰の割合が大きいほど多くなる。

(6) アスファルト混合物の耐流動性と剥離抵抗性

は、焼却灰の使用により低下するが、許容できる範囲の低下である。

(7) 焼却灰の含有量試験では、カドミウム、鉛、砒素、総水銀およびセレンが検出されるが、溶出試験の結果では、焼却灰ならびにそれを混入したアスファルト混合物とも土壤環境基準に適合する。

(8) 今後の追跡調査の結果を待たねばならないが、以上の室内実験結果と試験施工既設舗装の調査の結果から、石粉に30%程度混入してフィラーに使用することは可能である。

6. おわりに

以上、下水汚泥焼却灰のアスファルト混合物用フィラーとしての適用性について述べたが、あくまで神戸市の焼却灰の場合の結果である。他都市の焼却灰について同様の結果になるとは限らない。特に重金属の溶出性など、環境保全面での安全性が重要で慎重な検討を必要とする。

参考文献

- 1) 大嶋吉雄：廃棄物処理・再資源化技術ハンドブック，建設産業調査会，第2編，第4章，4.7下水汚泥，pp.465-472，1993.11.
- 2) 田中良穂：神戸市の下水汚泥焼却灰のアスファルト合材への有効利用事業，水，pp.61-68，2001.8.
- 3) 日本道路協会：アスファルト舗装要綱，1992.12.

(2001年11月30日受付 2001年12月26日受理)