

6. 遮熱性舗装施工時の臭気評価法の検討

Method of Evaluating Odor of Spread Solar Heat-blocking Paint

技術支援課 上野慎一郎、峰岸順一

1. まえがき

東京都では、平成 13 年度に当センター構内で遮熱性舗装のモデル実験を開始し、平成 14 年度に民間企業 3 社との共同で試験施工（中央区日本橋）を実施した。その後、平成 19 年度に低騒音の機能を損なわない遮熱性舗装の技術を公募し 18 社 19 技術が参加して共同実験（中央区築地）を行った。路面温度関係の調査の他、すべり抵抗、路面性状、タイヤ/路面騒音、浸透水量などの追跡調査結果を受けて、平成 20 年度より本格施工を開始し、施工延長は 26km（平成 22 年度末現在）に達している。施工実績の増加に伴い、繁華街、住居に隣接した箇所での施工が増加し、このような場所では施工（遮熱材塗布）時に発生する臭気の低減が求められるようになった。

そこで、施工時に発生する臭気が出るだけ少ない材料を選定するため、MMA 樹脂を主体とした従来型の遮熱材（以下、「通常タイプ」という。）と臭気の低減を図った遮熱材（以下、「低臭タイプ」という。）について、平成 21 年度に実施した室内及び当センター構内における臭気測定結果から、東京都建設局道路管理部は平成 22 年 9 月に室内臭気測定試験方法¹⁾を設定した。本文では、室内試験の他、現道における施工時の臭気測定を行い、設定した室内臭気測定試験により施工時に発生する臭気を評価できることを確認したので報告する。

2. 臭気測定方法について

臭気を測定する方法としては、複合臭の臭気指数・強さを評価する方法（臭気センサ法、三点比較式臭袋法など）、個別に物質の濃度を評価する方法（ガスクロマトグラフ質量分析法（GC/MS 法）、検知管法など）

がある。各方法には長所、短所²⁾があるが、複合臭に対応できること、連続測定が可能であることなどから、遮熱材が発する臭気の評価法として、臭気センサ法による室内臭気測定試験を設定している。以下、この試験法を主体とした室内試験と施工時の臭気測定の比較を行い、施工時の臭気評価法について検討した。

(1) 室内臭気測定方法について

室内臭気測定は、設定した室内臭気測定試験^{2,3)}、メタクリル酸メチル（MMA）濃度の測定、揮発成分の定性分析、及び引火点の測定を行った。

検討対象とした遮熱材は、平成 21 年度に測定した 10 種類（通常タイプ 3、低臭タイプ 7）、平成 22 年度に測定した 14 種類（通常タイプ 6、低臭タイプ 8）の計 24 種類である。以下、平成 21 年度に測定した材料を「遮熱材(H21)」、平成 22 年度に測定した材料を「遮熱材(H22)」と記す。

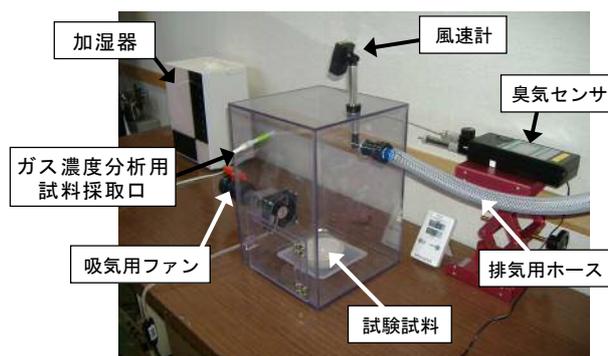


写真-1 室内臭気測定試験器

1) 室内臭気測定試験

室内臭気測定試験器^{2,3)}（以下、「試験器」という。写真-1）により遮熱材の臭気測定を行った。

本試験は、調合した遮熱材（1g）を蒸発皿に採取し試験器の底部中央に静置し、臭気センサにより 20～30 分程度モニタリングし、臭気センサが示す値（以下、

「臭気センサ値」という。)を測定するものである。測定は3回行い、試験中の臭気センサ値の最大値の平均を当該材料の測定値とした。

2) MMA 濃度の測定

MMA 濃度の測定は、ガスクロマトグラフ質量分析計 (GC/MS) による定量分析、及び検知管による測定を行った。

① GC/MS による測定方法

1)の試験時に臭気センサ値が最大値を指示した直後に固体吸着管でガスを捕集し、GC/MS を用いた定量分析により試験器内の MMA 濃度 (以下、「MMA 濃度 (GC/MS)」という。)を測定した。

② 検知管による測定方法

①と同様に、臭気センサ値が最大値を指示した直後に検知管を用いて試験器内の MMA 濃度 (以下、「MMA 濃度 (室内)」という。)を測定した。

3) 揮発成分の定性分析

遮熱材の塗布時及び硬化時に発生するガスの成分について、GC/MS により定性分析を行った。ガス濃度を高め分析の精度を上げるため、試験器からのガス採取ではなく、以下の手順で定性分析を実施した。

- ① 調合した遮熱材 (0.5g) をガラス容器に採取後、直ちにポリエステル製のサンプリングバッグ (容量 5L) (以下、「バッグ」という。)に入れ密閉した。
- ② バッグ内に窒素ガスを 5L 封入し、1 時間静置した。
- ③ 固体吸着管によりバッグ内のガスを採取し (写真-2)、GC/MS により定性分析を行った。
- ④ あわせて、検知管によりバッグ内の MMA 濃度 (以下、「MMA 濃度 (バッグ)」という。)を測定した。(写真-3)

3) 引火点の測定

引火点の測定は、遮熱材毎に指定された調合方法、割合により調合した試料について、タグ密閉式、ペンスキーマルテンス密閉式、またはセタ密閉式により行った。試験は JIS K 2265 に準拠して実施した。

(2) 施工時臭気測定方法について

遮熱性舗装施工時の臭気センサ値、MMA 濃度、臭気指数を 6 現場 (通常タイプ 1、低臭タイプ 5) で測定した。

1) 臭気センサ値の測定

臭気センサ値は、室内試験に用いた臭気センサを歩

車道境界、高さ 0.3m、1.2m に固定し遮熱材塗布作業員が固定点を通る前後 20m の値を測定した。測定状況を写真-4 に示す。

2) MMA 濃度の測定

遮熱材塗布作業員の近傍で検知管により施工時の MMA 濃度 (以下、「MMA 濃度 (施工時)」という。)を測定した。

3) 臭気指数の測定

2)と同様に塗布作業員の近傍で臭気を採取し三点比較式臭袋法により臭気指数 (以下、「臭気指数 (施工時)」という。)を求めた。



写真-2 定性分析用バッグ及びガス採取状況



写真-3 検知管によるガス採取状況

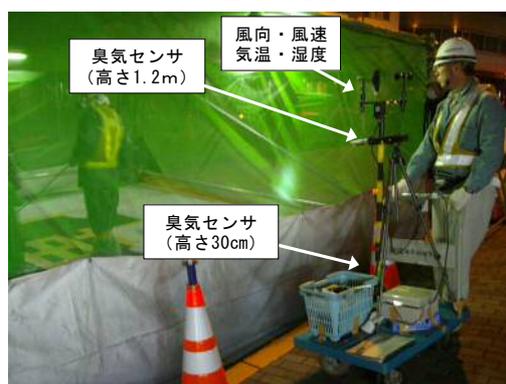


写真-4 施工時臭気測定状況

表-1 室内試験結果一覧

測定年度	タイプ	試料名		臭気センサ値	MMA濃度 (ppm)		引火点 (°C)
					GC/MS	検知管	
H 2 1	通常タイプ	A	上塗り	889	170	100	<2
			下塗り	886	100	100	<2
		B	上塗り	981	160	120	2
			下塗り	970	140	100	2
		C	上塗り	865	52	30	2
			下塗り	800	77	30	2
	低臭タイプ	D	上塗り	299	<10	<10	60
			下塗り	262	<10	—	60
		E	上塗り	265	<10	<10	2
			下塗り	288	<10	—	2
		F	上塗り	96	<10	<10	3
			下塗り	211	<10	—	3
		G	上塗り	202	<10	<10	2
			下塗り	203	<10	—	<2
		H	上塗り	212	<10	<10	<2
			下塗り	238	<10	—	<2
		I	上塗り	61	<10	<10	2
			下塗り	54	<10	—	2
J	上塗り	276	<10	<10	<2		
	下塗り	364	<10	—	<2		
H 2 2	通常タイプ	K	上塗り	290	<10	<10	<2
			下塗り	348	<10	<10	<2
		L	上塗り	728	33	20	13
			下塗り	770	53	30	10
		M	上塗り	404	<10	<10	<2
			下塗り	426	<10	<10	11
	N	上・下塗り (同一)	579	15	20	20	
	O	上塗り	603	17	20	—	
		下塗り	682	18	<10	10	
	低臭タイプ	Q	上塗り	214	<10	<10	107
			下塗り	192	<10	<10	97
		R	上塗り	67	<10	<10	154
			下塗り	76	<10	<10	156
		S	上・下塗り (同一)	93	<10	<10	79
		T	上塗り	167	<10	<10	115
			下塗り	161	<10	<10	113
		U	上塗り	221	<10	<10	108
			下塗り	301	<10	<10	78
V		上塗り	519	14	10	17	
		下塗り	470	<10	<10	19	
W		上塗り	231	<10	<10	110	
	下塗り	205	<10	<10	84		
X	上塗り	198	—	—	—		
	下塗り	233	—	—	—		

3. 臭気測定結果

(1) 室内臭気測定結果

室内臭気測定結果一覧は、表-1 に示すとおり。

1) 室内臭気試験

通常タイプの測定例を図-1~3、低臭タイプの測定例を図-5~6 に示す。

通常タイプの臭気センサ値は、遮熱材(H21)と遮熱材(H22)で異なるピーク形状を示した。遮熱材(H21)は材料の調合直後から急激に臭気が発生し徐々に低下したが、遮熱材(H22)は調合直後に臭気が発生し、更に調合後 20 分程度で発生する硬化時の臭気の方が大きいものが多数であった。しかし、臭気センサ値は遮熱材(H22)の方が低い傾向にあった。

低臭タイプについて、遮熱材(H21)は徐々に臭気が発生し低いピークが 10 分程度続くものが多数であった。遮熱材(H22)は調合直後に低いピークがあり 5 分程度で 100 以下になるもの、ほとんど臭気を発しないものの 2 種類であった。低臭タイプも遮熱材(H22)の臭気センサ値が低くなった。

2) MMA 濃度測定結果

通常タイプでは、GC/MS、検知管ともほとんどの材料で MMA が検出された。遮熱材(H21)は、MMA 濃度 (GC/MS) 52~170、MMA 濃度 (室内) 30~120 であったが、遮熱材(H22)はそれぞれ 15~53、20~30 と大きく低減しており、MMA が検出されない材料も 2 種類あった。この MMA 濃度の低減により、1) で示したように遮熱材(H22)の臭気センサ値が低下したと考えられる。一方、低臭タイプでは、1 材料を除き MMA が検出されなかった。MMA が検出された材料は臭気センサ値も高く、通常タイプと同程度の強い臭気があった。

MMA 濃度 (GC/MS) と臭気センサ値 (室内) の関係を図-7 に示す。MMA 濃度の定量下限値 (10ppm) 以下は、0ppm とした。MMA 濃度が大きくなると臭気センサ値も増加しており、臭気センサにより MMA に由来する臭気を適切に評価できることが分かる。

MMA 濃度 (GC/MS) と MMA 濃度 (室内) の関係を図-8 に示す。定量下限値 (10ppm) 以下は、0ppm とした。決定係数 (R²) は 0.8803 と高く、MMA 濃度は簡易な検知管により十分測定可能であることが分かった。

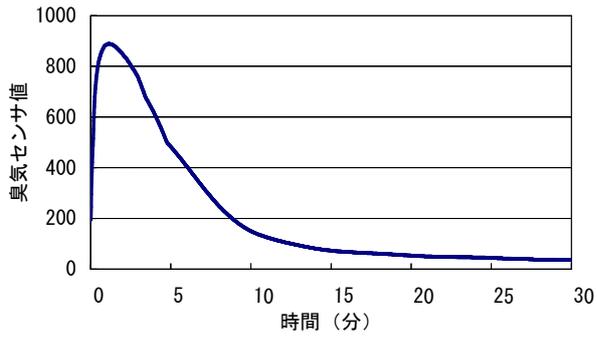


図-1 遮熱材(H21) (通常タイプ) の臭気センサ値

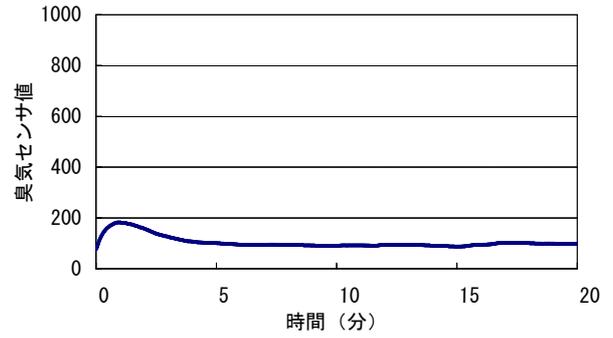


図-5 遮熱材(H22) (低臭タイプ) の臭気センサ値

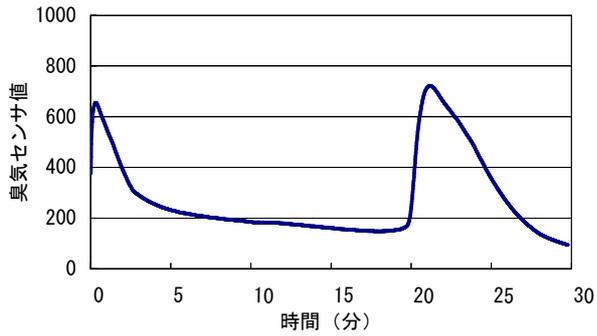


図-2 遮熱材(H22) (通常タイプ) の臭気センサ値

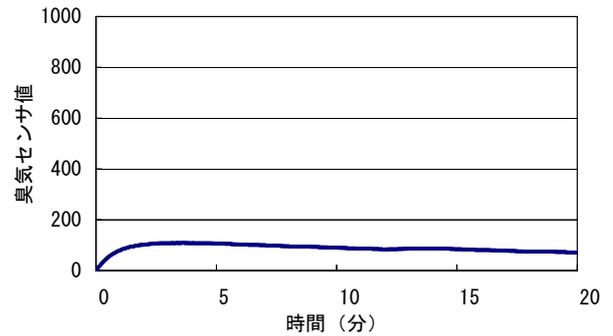


図-6 遮熱材(H22) (低臭タイプ) の臭気センサ値

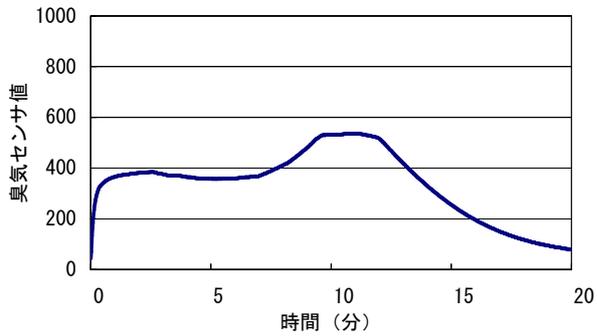


図-3 遮熱材(H22) (通常タイプ) の臭気センサ値

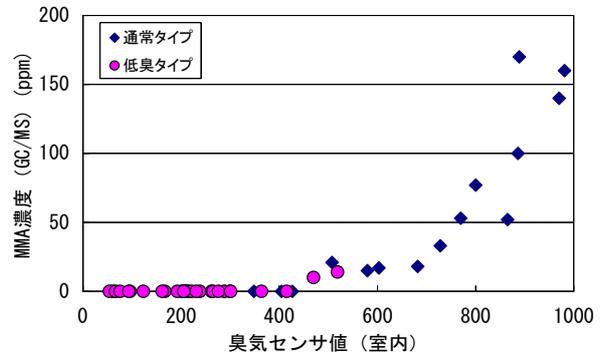


図-7 MMA 濃度 (GC/MS) と臭気センサ値 (室内)

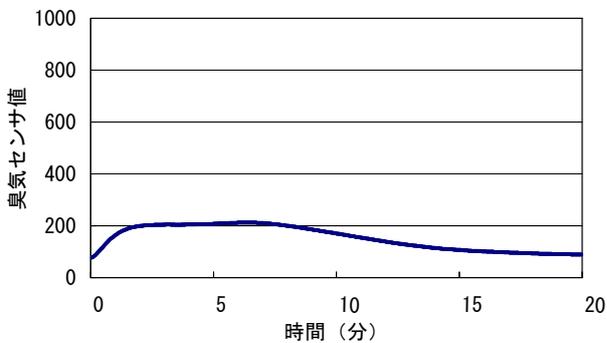


図-4 遮熱材(H21) (低臭タイプ) の臭気センサ値

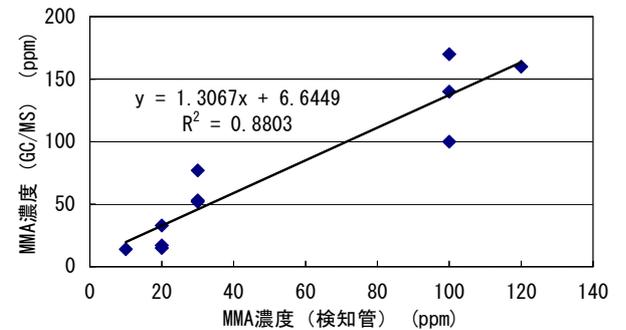


図-8 MMA 濃度 (GC/MS) と MMA 濃度 (室内)

3) 揮発成分の定性分析結果

通常タイプは、主に MMA が同定された。その他に少量のアセトン、トルエンが同定される材料もあった。低臭タイプは、複数の成分が同定された。MMA が同定されない (MMA 樹脂を使用していない) 材料も 2 種類あった。

MMA 濃度 (バッグ) と MMA 濃度 (GC/MS) の関係を図-9 に示す。定量下限値 (10ppm) 以下は 0ppm、定量上限値 (500ppm) 以上は 500ppm として示した。室内臭気測定試験で採取したガスの GC/MS による MMA 濃度測定値が定量下限値 (10ppm) 以下でも、ほとんどの遮熱材 (22 種類) に MMA が含まれていることが分かった。なお、定性分析で MMA が同定されなかった遮熱材 (2 種類) は、MMA 濃度 (バッグ) でも MMA が検出されなかった。遮熱材が MMA を含むか否かの判断は GC/MS による定性分析を行わなくても 2. (1)3) に示した手順の検知管法により可能であると考えられる。

4) 引火点測定結果

通常タイプの引火点は、遮熱材 (H21)、遮熱材 (H22) 共に 2°C 未満～20°C の低い値を示した。一方、低臭タイプでは、遮熱材 (H21) は 3°C 以下の材料が大半を占めていたが、遮熱材 (H22) では 1 材料を除き 78°C～156°C と高い値を示した。

ここで、引火点と臭気センサ値 (室内) の関係を図-10 に示す。遮熱材 (H22) の低臭タイプは引火点が高く、臭気センサ値は低くなっている。また、遮熱材 (H21) の低臭タイプは引火点、臭気センサ値ともに低い傾向にある。通常タイプは引火点が低く、臭気センサ値は高くなっている。遮熱材 (H22) の低臭タイプで引火点の低かった 1 材料は 2) で示した MMA 濃度 (室内) が検出された材料と同一であり、他の低臭タイプより臭気センサ値が 200 以上大きい値を示した。

なお、消防法上、遮熱材は第四類危険物に属し、引火点が 20°C 未満は「第 1 石油類」、20°C 以上 70°C 未満は、「第 2 石油類」、70°C 以上 200°C 未満は、「第 3 石油類」に分類され、それぞれ保管に必要な届出の指定数量が 200 L、1000 L、2000 L と異なる。

5) 遮熱材の特徴

上記のとおり、平成 21、22 年度に室内臭気測定を行った結果、通常タイプ、低臭タイプ共に遮熱材 (H22) の臭気が低くなっている。遮熱性舗装はすべり抵抗性、耐摩耗性など年々改良が加えられており、臭気についても同様に改良されている状況が確認できた。表-2 に遮熱材 (H22) の特徴を示す。なお、低臭タイプのうち臭気センサ値、引火点等で他材料と異なる性状を示した 1 材料は除外して整理した。

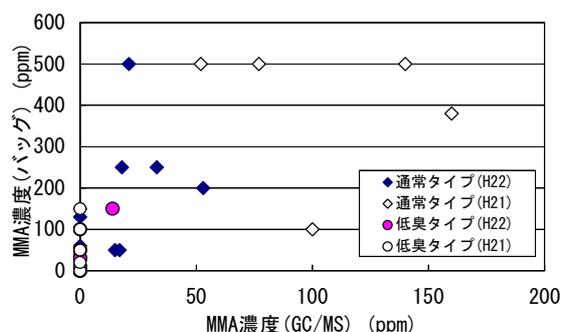


図-9 MMA 濃度 (バッグ) と MMA 濃度 (GC/MS)

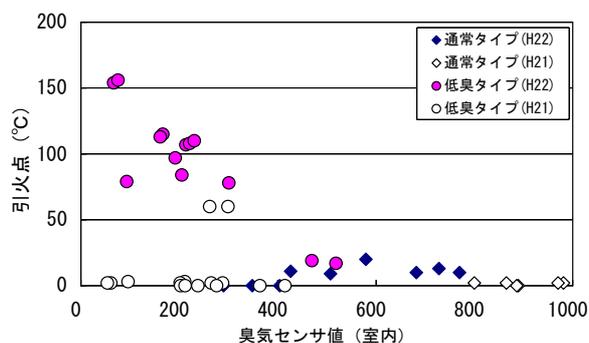


図-10 引火点と臭気センサ値 (室内)

表-2 通常タイプと低臭タイプの比較 (遮熱材 (H22))

項目	通常タイプ	低臭タイプ
臭気センサのピーク形状	明確なピークが現れることが多い。 (臭気が急激に発生する。)	緩やかなピークが現れる。 または、ほとんど臭気が発生しない。
揮発性成分の定性分析	MMA が主に同定される。	複数の物質が同定される。
引火点の測定	低い (2°C 未満～20°C)	高い (78°C～156°C)
MMA 濃度 (室内)	10ppm 以上検出される。	検出されない。

(2) 施工時臭気測定結果

施工時臭気測定結果一覧は、表-3 のとおり。

1) 臭気センサ値測定結果

臭気センサ値の測定例を図-11~12 に示す。横軸は臭気センサ設置箇所から遮熱材塗布作業員までの距離を表している。遮熱材塗布の速度が一定でないため、座標上の距離間隔は一定とはなっていない。測定時の風速は概ね 0.1m/s 程度であり、測定に影響はなかった。

平成 21 年度に実施した当センター構内での臭気測定により、低い位置での臭気が強いことがわかっている¹⁾。これは揮発成分の比重が重いためと考えられる。しかし、現道での作業では、写真-5 に示すように合板などで遮熱材の飛散防止措置を行っているため、低い位置の臭気が遮蔽される場合があり、高い位置の臭気センサ値が大きくなる場合があることがわかった(図-11)。このことから施工時の臭気センサ値は高さ 1.2m での測定値を用いて検討を行った。

施工時の臭気センサ値(施工時)と室内試験の臭気センサ値(室内)の関係を図-13 に示す。施工時の臭気センサ値は、室内臭気測定試験の値より 2 倍程度大きい結果となった。これは室内測定では吸気ファンにより試験器内を強制的に換気しているため、ガス濃度が低くなっているためと考えられる。臭気センサ値(施工時)は、800 未満または 1400 以上のグループに大別できる。1400 以上のグループでは、遮熱材独特の強い臭気を発していた。800 未満のグループでは、強い臭気はなかった。

施工時と室内の臭気センサ値の決定係数 (R^2) は 0.9276 であり、室内臭気測定試験で施工時の臭気を評価できることが分かった。

2) MMA 濃度測定結果

低臭タイプ 5 現場のうち 4 現場では、MMA は検出されなかったが、1 現場 (V) で通常タイプ (L) と同程度の MMA が検出された。施工時の検知管による MMA 濃度と室内試験の GC/MS による MMA 濃度の関係を図-14 に示す。定量下限値(10ppm)以下は、0ppm とした。また、現場 (V) の臭気センサ値も通常タイプと同程度の大きさである。この現場に用いられた材料は、室内試験で他の低臭タイプと性状を異にした材料と同一であった。

3) 臭気指数測定結果

臭気センサ値(施工時)の高い現場では、臭気指数も 26~37 と高い数値となった。一方、臭気センサ値の低かった現場の臭気指数は 14~20 と比較的小さい値となった。

現場の臭気指数と室内試験の臭気センサ値の関係を図-15 に示す。臭気センサ値、臭気指数ともに低いグループと高いグループに明確に分かれた。

図-13、15 から遮熱性舗装特有の強い臭気が発生するしきい値は、臭気センサ値(室内)で 400 前後と考えられる。

4) 遮熱性舗装工事において発生する臭気について

臭気が発生に関しては、発生源、臭質、発生する工程を把握することが臭気対策を実施する上で重要になる。そこで、今回の現場調査での臭気発生状況(主な臭気発生源と臭質)を表-4 に示す。

表-3 施工時臭気測定結果

測定年度	タイプ	試料名	臭気センサ値(最大値)	MMA濃度(検知管)(ppm)	臭気指数	
H22	通常	L	上塗り	1727	65	29
		下塗り	2000	70	26	
	低臭タイプ	Q	上塗り	729	<10	14
			下塗り	453	<10	17
		S	上・下塗り(同一)	353	<10	-
		U	上塗り	479	<10	15
			下塗り	565	<10	15
		V	上塗り	1626	30	34
			下塗り	1432	70	37
		X	上塗り	347	<10	17
	下塗り		478	<10	20	



写真-5 遮熱材飛散防止の状況

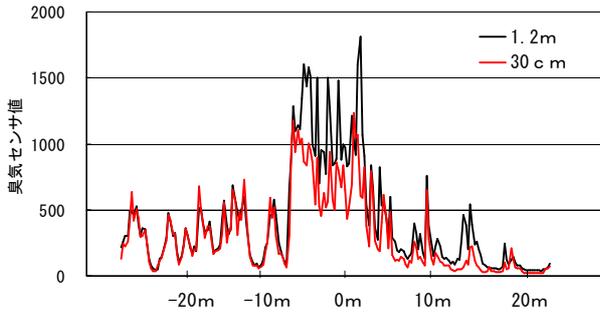


図-11 施工時のセンサ値 (通常タイプ)

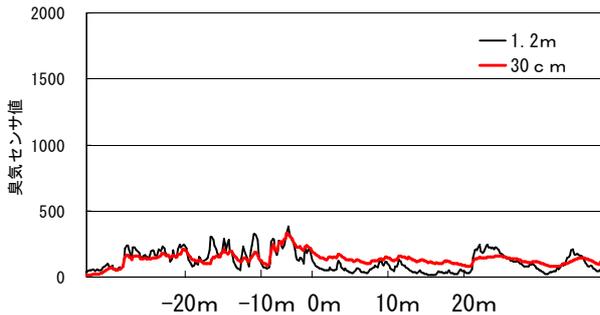


図-12 施工時のセンサ値 (低臭タイプ)

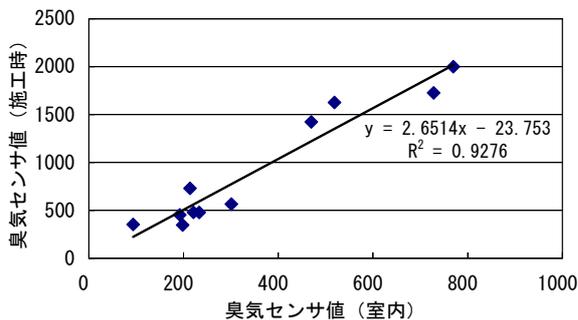


図-13 臭気センサ値(施工時)と臭気センサ値(室内)

4. まとめ

- ①設定している室内臭気測定試験により、遮熱性舗装施工時に発生する臭気を評価できることを確認した。
- ②MMA 濃度が上昇すると臭気センサ値も合わせて増加する。
- ③MMA 濃度、臭気センサ値が上昇するほど、遮熱性舗装特有の臭気が強くなる。
- ④臭気センサ値 (室内) と臭気センサ値 (施工時) 及び臭気指数 (施工時) の関係から、臭気センサ値 (室内) 400 前後から強い臭気を発すると考えられるが、安全側を見て 300 を基準値とした。
- ⑤MMA 濃度は簡易な検知管法により、GC/MS 法に近い測

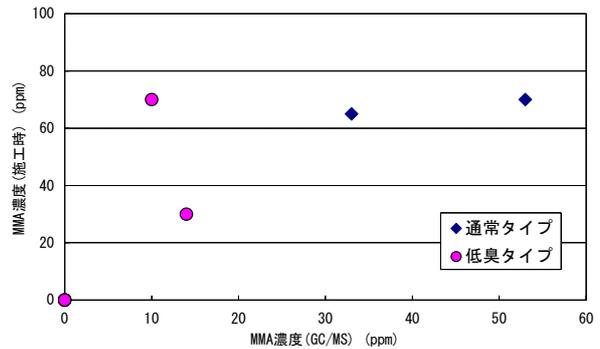


図-14 MMA 濃度(施工時)と MMA 濃度 (GC/MS)

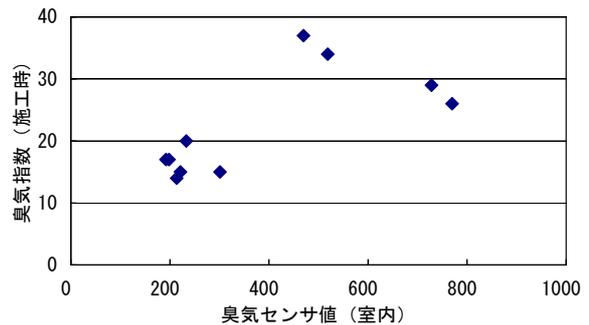


図-15 臭気指数(施工時)と臭気センサ値(室内)

表-4 遮熱性舗装工事での臭気の発生状況

発生源 (工程)	臭質
遮熱性舗装の調製時	接着剤のような有機溶剤臭 (メチルエチルケトン等)
遮熱性舗装の作業時 (塗装作業)	塗料臭
遮熱性舗装の作業時 (骨材等の散布)	エンジンの排気ガス臭
遮熱性舗装の作業後	路面からの塗料臭

定結果が得られる。

5. あとがき

設定した室内試験方法により現場施工時に発生する臭気を評価できることを確認した。しかし、MMA 以外の樹脂を主体とした遮熱材が増えていることから、それらの材料も多く測定し、基準値の再設定やその他の手法もあわせた評価法を今後検討したい。

最後に、臭気測定に当たりご協力いただいた道路管理部保全課、各建設事務所、遮熱性舗装技術研究会 (現路面温度上昇抑制舗装研究会) の関係各位に紙面を借りて感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 東京都建設局道路管理部(2010)：遮熱性舗装（車道）設計・施工要領（案）、平成 22 年 9 月
- 2) 峰岸順一、上野慎一郎(2010)：遮熱性舗装材料の臭気の評価、平 22. 都土木技術支援・人材育成センター年報、51-58
- 3) 吉儀、武田、原田(2009)：低臭型遮熱性舗装の検討、第 28 回日本道路会議論文集