

## 4. 遮熱性舗装材料の臭気の評価

Evaluation of Odor of Solar Heat-blocking Pavement Material

技術支援課 峰岸順一、上野慎一郎

### 1. まえがき

東京都における遮熱性舗装は、平成 13 年度に土木技術支援・人材育成センター(以下、「センター」という。)構内で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を実施した。遮熱性舗装は色によって効果が異なるが、センター構内での温度測定では、灰色系は、密粒度との最大温度差で 14、黒系では 10 の低減であった。その後、平成 19 年度に低騒音舗装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が行われた。追跡調査では、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、透水量などの調査を進めた。この調査結果を受けて、平成 20 年度から本格施工を開始している。施工実績は、表-1 に示すように約 15km となっている。そして、施工実績の増加に伴って、施工(遮熱材塗布)時に発生する臭気に関して近隣住民から異臭がするとの苦情が発生してきた。

本文では、施工時の臭気の発生が出来るだけ少ない材料を選定するために、室内及び屋外で臭気の評価手法について検討した結果を報告する。

### 2. 臭気測定方法の検討

臭気を測定する方法としては、表 - 2 に示す臭気センサ、検知管、ガスクロマトグラフ質量分析、三点比較式臭袋法の 4 種類の方法があげられる。各方法長所、短所があるのでその適用性について検証した。

#### (1) 室内臭気測定方法について

室内で遮熱材の臭気を評価するために臭気測定試験器を試作し、室内評価試験法を検討した。

臭気測定試験器<sup>1)</sup>(写真 - 1、試験器の仕様は表 - 3)による試験により遮熱材の臭気測定を行った。

試験内容は、臭気センサによる臭気測定と検知管によるメタクリル酸メチル(以下、「MMA」という。)の濃度(以下、「ガス濃度(検知管)」という。)の測定、および空気排出口からガスを固体捕集(テナックス管で捕集)して、ガスクロマトグラフ質量分析(GC/MS)によりガス濃度(以下、「ガス濃度(GC/MS)」という。)を分析するとともに揮発成分の定性分析を行った。

ここで、ガスクロマトグラフ分析(GC)とは、揮発性物質を対象とした分析で、混合物を分離し定量分析することである。有機化合物の多成分混合物の分析が容易な分析方法で、環境中の微量な有機汚染物質を測定することが可能である。ガスクロマトグラフ質量分析(GC/MS)は、ガスクロマトグラフで多成分混合物を分離し、質量分析計で定性、定量する機器で、有機物が混合した物質の組成を検討する分析である。

対象とした、遮熱材は、21 製品(通常タイプ 3、低臭タイプ 18)である。

表 - 1 遮熱性舗装施工実績

|        | 箇所数   | 延長     |
|--------|-------|--------|
| 平成19年度 | 3 箇所  | 約 1 km |
| 平成20年度 | 9 箇所  | 約 2 km |
| 平成21年度 | 40 箇所 | 約12 km |
| 実績 計   | 52 箇所 | 約15 km |

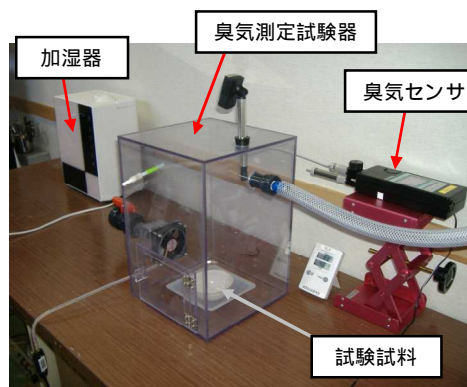


写真 - 1 試作試験器および測定状況

表 - 2 臭気測定法と長所・短所

| 測定方法                     | 出力結果            | 長所                                      | 短所  |
|--------------------------|-----------------|---|---|
| 臭気センサ                    | 臭気センサ値          | 現場で数値が得られる<br>複合臭に対応できる<br>瞬間値および連続測定可能 | 物質の同定が出来ない<br>嗅覚の感覚量として表示難しい                                  |
| 検知管                      | ガス濃度<br>(検知管)   | 現場で数値が得られる<br>測定費用安い                    | 測定濃度に制限がある<br>嗅覚の感覚量として表示難しい<br>特定成分のみにしか対応できない<br>(今回はMMAのみ) |
| ガスクロマトグラフ質量分析<br>(GC/MS) | ガス濃度<br>(GC/MS) | 物質の濃度を示せる<br>物質の同定可                     | 現場で数値が得られない<br>嗅覚の感覚量として表示難しい                                 |
|                          | 物質の同定           |   |   |
| 三点比較式臭袋法                 | 臭気指数            | 嗅覚の感覚量として示せる<br>全ての臭気に対応可<br>複合臭に対応     | 現場で数値が得られない<br>連続測定が出来ない                                      |

### 1) 臭気センサによる臭気測定とガス濃度測定

臭気センサによる臭気測定の試験条件を表 - 4、ガスクロマトグラフ質量分析 (GC/MS) の分析条件を表 - 5 に示す。試験手順は、以下のとおり行った。

#### 試験室

臭気測定試験器を置く試験室内を空調、加湿器を用いて、温度 20、湿度 50% に設定した。

#### 臭気センサ

使用した臭気センサの主な仕様を表 - 6 に示す。測定条件は、以下の設定とした。

- ・測定モード；モニタリングモード
- ・測定間隔；1 秒

#### 臭気測定試験器

臭気測定試験器の送風器のスイッチを ON にする。臭気測定試験器に臭気センサを接続し、測定状態とする。空気排出口にホースを接続し、試験による排出ガスが試験に影響が出ないよう試験室の外に排気できるようにした。

#### 材料の調合

遮熱材を材料ごとにメーカーが指定した調合方法、調合割合に従って調合した。調合に際しては、臭気測定試験室とは別室とし、局所排気のあるところで行った。塗材を各 20~25 g 程度秤量し (調合量として 40~50 g)、所定量の硬化剤を混合し試験試料とした。

なお、硬化剤を混合すると硬化が始まるので、手早く行った。また、調合に際し硬化剤が別の塗材に混入しないよう留意する必要がある。

### 試験の実施

で調査した試料のうち 1g を蒸発皿 (外径約 80mm、厚さ約 3mm、重さ 63~67g、容量 80mL 程度) に採取して、手早く臭気測定試験器の底部中央に静置した。試験の実施状況は、写真 - 1 に示す。静置したのち、すぐに臭気センサのデータ取り込みを開始した。データの取り込みは、20 分程度とした。この試験中に、臭気センサ値を確認し、最大臭気レベルを示したときに、試料 (ガス) を採取し、ガス濃度 (検知管) およびガス濃度 (GC/MS) の測定を行った。計測開始から 20 分間程度臭気センサのモニタリングを継続し、臭気センサ値が 100 を下回った時点で、次の試料の測定を行った。

### 2) 揮発性成分の定性分析

ガスクロマトグラフ質量分析計 (GC/MS) を用いた定性分析により遮熱材塗布時に発生する揮発性成分に含まれる有機化合物を同定した。試験手順は、次のとおりである。

#### 準備

ポリエステル製バッグ (一辺が糊付けされておらず、試料が入られる) (容量 5L または 10L) を用意した。

遮熱材を試料ごとにメーカーが指定した調合量で調製し試験試料とした。

上記で調製した遮熱材を天秤で秤量しガラス容器に採取した。

で秤量した試料をポリエステル製バッグに入れ、直ちに密閉した。

のバッグに窒素ガスを封入した。

表 - 3 試験器の仕様

| 仕様項目        | 内容                           |
|-------------|------------------------------|
| 大きさ         | 幅 ; 25cm 奥行 ; 25cm 高さ ; 35cm |
| 空気取入れ口中央の高さ | 底面から8cm 直径 ; 7cm             |
| 空気排出口中央の高さ  | 底面から29cm                     |
| 臭気センサの穴の高さ  | 底面から30cm 直径 ; 12mm           |
| 採取取入れ口      | 10cm x 10cm程度                |
| 吸気取入れ用ファン   | SANYO DC Petit Ace25         |
| 風速計         | 405-V1                       |
| 臭気センサ       | XP-329 R                     |

表 - 4 試験条件

| 試験条件         | 内容                          |
|--------------|-----------------------------|
| 送風量          | 0.14 L / s (風速 ; 0.2m / s ) |
| 試料の位置        | 蒸発皿に採取して、試験器の底部中央に静置        |
| 試験時間         | 20分程度                       |
| 臭気測定値        | 臭気レベル (臭気センサ値)              |
| 試験温度・湿度 (目標) | 温度 ; 20 、 湿度 ; 50%          |
| 試料量          | 1g                          |

表 - 5 GC/MS の分析条件

| 項目           | 内容   |
|--------------|--|
| GC/MSの機種     | 島津製作所 QP - 5050A                             |
| 使用カラム        | DB - 1 (60m x 0.32mm x 1μm)                  |
| 分析条件 (カラム温度) | 40 (4分) (5 /分) 140 (0分)<br>(15 /分) 230 (10分) |

表 - 6 臭気センサの仕様

|            |  |
|------------|--|
| 測定対象       | 各種香気・臭気成分  |
| 測定原理       | 高感度酸化インジウム系熱線型焼結半導体式   |
| 測定モード      | モニタリングモード・バッチモード   |
| 測定 (検知) 範囲 | レベル表示時 : 0 ~ 2000<br>臭気指数表示時 : 0 ~ (40)<br>(レベル表示の2000相当値まで) |
| 繰返し再現性     | 測定値 ± 5% ± 1digit  |
| 使用温湿度範囲    | 温度 : 0 ~ 40 / 湿度 : 10 ~ 80%RH                                |

バッグを1時間程度放置した後、バッグ内のガスについて次の操作を行った。

固体吸着管 (テナックス管) によりバッグ内のガスを採取し、ガスクロマトグラフ質量分析計 (GC/MS) により定性分析を行った。

## (2) 室内臭気測定結果

測定したガス濃度 (GC/MS) と臭気センサ、ガス濃度 (検知管) の値を比較し、室内における臭気の評価手法としての臭気センサ、検知管の有効性を検討した。

臭気測定結果は、表 - 7 に示すとおりである。

### 1) 臭気センサによる臭気測定結果

臭気のある通常タイプのもは、臭気センサ値 (使用した臭気センサの表示する値) が 800 ~ 1000 程度の値であった。低臭タイプとしているものは、臭気センサ値 50 ~ 400 程度と幅があることがわかった。次に通常タイプと低臭タイプの臭気センサ値の変動の例を図 - 1 ~ 4 に示す。通常タイプでは、強い臭気が短時間に発生し徐々に低下することが分かった。低臭タイプの臭気は徐々に発生し、低いピークが 10 分程度続くことが分かった。

### 2) ガス濃度 (GC/MS) 測定結果

通常タイプのガス濃度 (GC/MS) は、52 ~ 170 ppm と幅があった。低臭タイプは、全て 10ppm (測定下限値) 以下であった。

### 3) ガス濃度 (検知管) 測定結果

通常タイプのガス濃度 (検知管) は、30 ~ 120 ppm と幅があった。低臭タイプは、全て 10ppm (測定下限値) 以下であった。

### 4) 揮発性成分の定性分析結果

揮発性成分の定性分析結果一覧を表-8 に示す。また通常タイプと低臭タイプの定性分析結果の一例を図 - 5、6 に示す。ここで、横軸の保持時間とは試料を分析装置に注入してから検出器に到達し検出されるまでに要する時間であり、縦軸はピーク高さを示し、検出された物質の程度を相対的に示す。今回使用した機器の出力では、通常、縦軸の名称、目盛りを表記しない。

通常タイプの主な成分はMMAであった。低臭タイプでも、1社の2層目以外は全てMMAが同定されたが、MMA以外に数種類の有機化合物を含んでいた。

## (3) 臭気センサ値とガス濃度 (GC/MS) の関係

臭気センサ値とガス濃度 (GC/MS) について図 - 7 に示す。今回の結果からは、臭気センサ値とガス濃度 (GC/MS) の間には明確な相関は見られなかった。しかし、通常タイプと低臭タイプで傾向に違いがみられることから、臭気センサを用いた測定により施工時の臭気を評価できると考えられた。

(4) ガス濃度の検知管法と GC/MS 法の関係

ガス濃度 (検知管) とガス濃度 (GC/MS) の関係を図 - 8 に示す。低臭タイプは、検知管、GC/MS とも測定下限値 (10ppm) 以下であったため、通常タイプの測定結果について整理した。

ガス濃度の検知管法と GC/MS 法の間には、正の相関関係がみられる。簡易な検知管法による測定で、より精度の高い GC/MS 法の濃度が推定可能である。

表 - 7 室内臭気測定結果

| 材料名       |     | 臭気センサ値<br>(最大値) | ガス濃度 (ppm) |     |     |
|-----------|-----|-----------------|------------|-----|-----|
|           |     |                 | GC/MS      | 検知管 |     |
| 通常<br>タイプ | A   | 上塗材             | 889        | 170 | 100 |
|           |     | 下塗材             | 886        | 100 | 100 |
|           | B   | 上塗材             | 981        | 160 | 120 |
|           |     | 下塗材             | 970        | 140 | 100 |
|           | C   | 上塗材             | 865        | 52  | 30  |
|           |     | 下塗材             | 800        | 77  | 30  |
| 低臭<br>タイプ | D   | 上塗材             | 299        | <10 | <10 |
|           |     | 下塗材             | 262        | <10 | -   |
|           | E   | 上塗材             | 265        | <10 | <10 |
|           |     | 下塗材             | 288        | <10 | -   |
|           | F   | 上塗材             | 96         | <10 | <10 |
|           |     | 下塗材             | 211        | <10 | -   |
|           | G   | 上塗材             | 202        | <10 | <10 |
|           |     | 下塗材             | 203        | <10 | -   |
|           | H   | 上塗材             | 212        | <10 | <10 |
|           |     | 下塗材             | 238        | <10 | -   |
|           | I   | 上塗材             | 61         | <10 | <10 |
|           |     | 下塗材             | 54         | <10 | -   |
| J         | 上塗材 | 276             | <10        | <10 |     |
|           | 下塗材 | 364             | <10        | -   |     |
| K         |     | 415             | <10        | <10 |     |

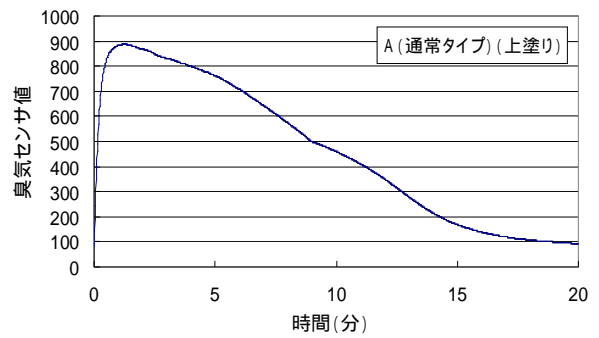


図 - 1 臭気測定結果 ( A (通常タイプ) (上塗り) )

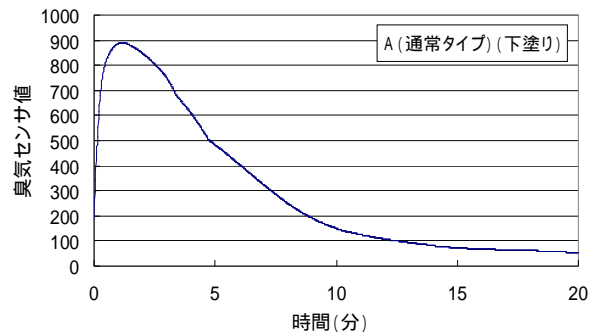


図 - 2 臭気測定結果 ( A (通常タイプ) (下塗り) )

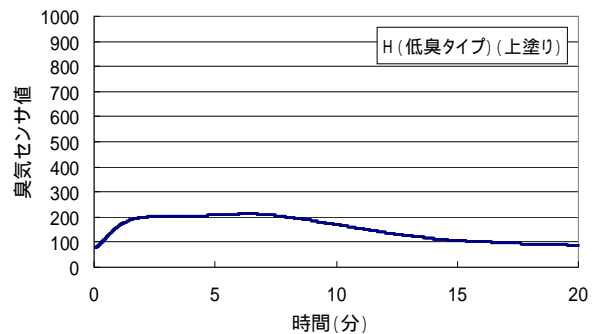


図 - 3 臭気測定結果 ( H (低臭タイプ) (上塗り) )

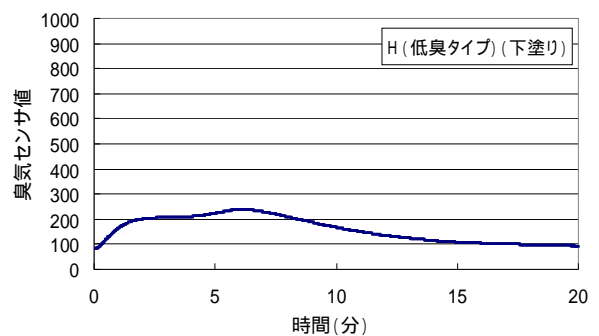


図 - 4 臭気測定結果 ( H (低臭タイプ) (下塗り) )

表 - 8 定性分析の結果

|       |     | 同定された物質名  |  |
|-------|-----|---|--|
| 通常タイプ | A   | 上塗材   | メタクリル酸メチル  |
|       |     | 下塗材   | メタクリル酸メチル  |
|       | B   | 上塗材   | メタクリル酸メチル、酢酸エチル、イソプロピルアルコール  |
|       |     | 下塗材   | メタクリル酸メチル  |
|       | C   | 上塗材   | メタクリル酸メチル  |
|       |     | 下塗材   | メタクリル酸メチル  |
| 低臭タイプ | D   | 上塗材   | アセトアルデヒド、アセトニトリル、アセトン、メチルエチルケトン、ヘキサン、1,4-ジオキサン、メタクリル酸メチル、エチルベンゼン             |
|       |     | 下塗材   | アセトアルデヒド、1,4-ジオキサン、メタクリル酸メチル、シロキサン、アセトフェノン                                   |
|       | E   | 上塗材   | アセトアルデヒド、1,4-ジオキサン、メタクリル酸メチル、シクロヘキサン(5種)、エチルベンゼン、アセトフェノン                     |
|       |     | 下塗材   | 1,4-ジオキサン、メタクリル酸メチル  |
|       | F   | 上塗材   | ヘキサン、ベンゼン、メタクリル酸メチル、トルエン   |
|       |     | 下塗材   | アセトアルデヒド、メチルエチルケトン、酢酸エチル、ベンゼン、1,4-ジオキサン、メタクリル酸メチル、トルエン、トリメチルベンゼン、ジクロロベンゼン    |
|       | G   | 上塗材   | プロピレン、アセトアルデヒド、イソプロピルアルコール、酢酸エチル、1,4-ジオキサン、メタクリル酸メチル、トルエン、シロキサン、エチルベンゼン、キシレン |
|       |     | 下塗材   | プロペン、イソプロピルアルコール、酢酸エチル、メタクリル酸メチル   |
|       | H   | 上塗材   | イソプロピルアルコール、酢酸エチル、1,4-ジオキサン、メタクリル酸メチル、エチルベンゼン                                |
|       |     | 下塗材   | イソプロピルアルコール、酢酸エチル、1,4-ジオキサン、メタクリル酸メチル  |
|       | I   | 上塗材   | アセトアルデヒド、アセトニトリル、酢酸エチル、ベンゼン、1,4-ジオキサン、トルエン、酢酸ブチル、シロキサン、エチルベンゼン、キシレン、ジクロロベンゼン |
|       |     | 下塗材   | 酢酸エチル、ベンゼン、メタクリル酸メチル、エチルベンゼン、キシレン、ジクロロベンゼン                                   |
| J     | 上塗材 | アセトアルデヒド、ベンゼン、1,4-ジオキサン、メタクリル酸メチル、シロキサン           |  |
|       | 下塗材 | メタクリル酸メチル   |  |
| K     |     | アセトアルデヒド、アセトン、1,4-ジオキサン、メタクリル酸メチル、酢酸ブチル、トリメチルベンゼン |  |

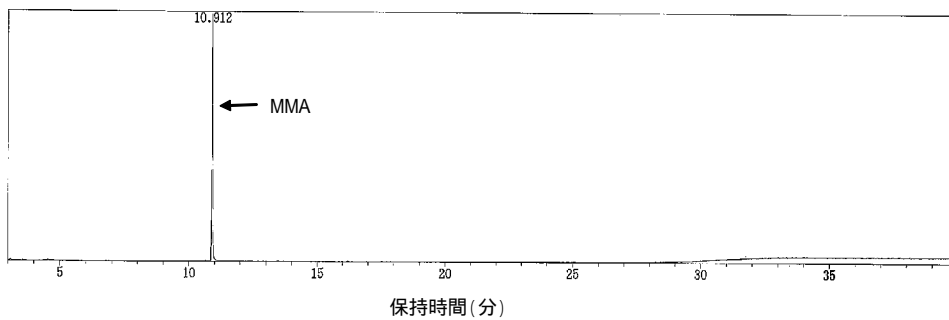


図 - 5 定性分析結果 (通常タイプ)

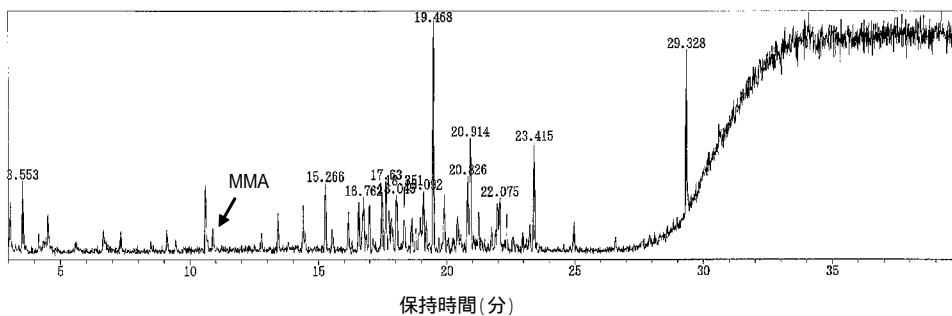


図 - 6 定性分析結果 (低臭タイプ)

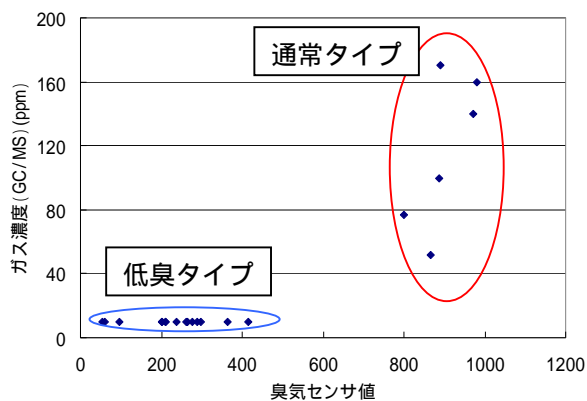


図 - 7 臭気センサ値とガス濃度 (GC/MS) の関係

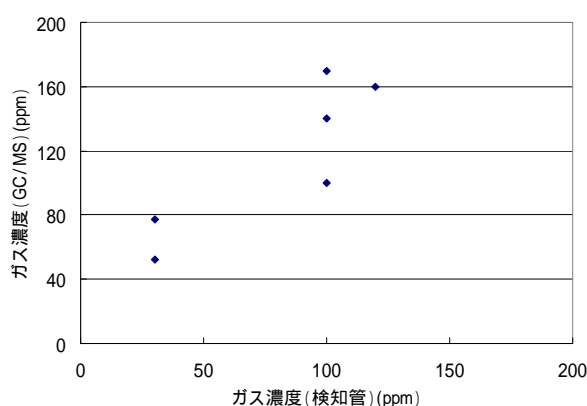


図 - 8 ガス濃度 (検知管) とガス濃度 (GC/MS) の関係

### 3. 構内臭気測定方法の検討

室内試験で使用した21製品のうち8製品についてセンター構内で遮熱性舗装の試験施工（遮熱材塗布）を行い、表 - 9 に示す臭気測定を実施した。

#### (1) 構内臭気測定について

施工時（塗布面積；W1.8m×L6.0m、10.8m<sup>2</sup>）に、地表面より高さ0.3m及び1.2m、距離1.0mの位置で臭気測定を実施した。施工および測定状況は、写真 - 2、図 - 9 に示すとおりである。

なお、臭気濃度とは、単に臭気の濃度ということではなく、臭気のある気体を無臭の清浄な空気希釈したとき無臭に至るまでに要した希釈倍数、のことである。臭気濃度10とは、臭気のある気体を無臭の清浄な空気希釈すると無臭になることを意味する。また臭気指数は、臭気濃度を対数表示したもので次の関係がある。

$$\text{臭気指数} = 10 \times \text{Log} (\text{臭気濃度})$$

測定方法は、国が認定した臭気判定士が三点比較式臭袋法によって行う官能試験法（人間の嗅覚によって判定する方法）であり、測定は6人以上で構成されるパネル（官能試験を行う検査員の集団）を用いて行う。

表 - 9 構内臭気測定の内容

| 測定内容  | 使用機材もしくは測定方法            | 測定または試料採取のタイミング                                       |
|---|-------------------------|---|
| 臭気センサを用いての施工開始から終了までの臭気の状態を測定した。                        | 臭気センサ (XP-329 R)        | 施工開始2～3分前よりモニタリングを開始し、下塗り、上塗りが終了するまでモニタリングを実施した。      |
| 作業環境空気をバッグに捕集し、試験室に持ち帰り、3点比較式臭袋法により臭気指数（臭気濃度）の測定をおこなった。 | ポリエステルバッグ採取<br>3点比較式臭袋法 | 施工中で臭気が強く感じられたときに試料を採取した。                             |
| 風向・風速計で風向・風速を計測する。                                      | 風向・風速計                  | 構内試験中（9:00～15:00頃までもしくは13:00～15:00頃まで）を通してモニタリングを行った。 |
| 温度・湿度の計測も行った。   | 温・湿度計                   | なお、気象条件に関する考察については、試験中のデータの中で施工中の時間のみを使用した。           |

(2) 構内臭気測定結果

構内臭気測定結果は、図 - 10 ~ 11、表-10 に示すとおり。

1) 臭気センサ値測定結果

通常タイプは、1層目、2層目で臭気センサ値に差が生じることがわかった。測定高さ 30cmの方がセンサ値が高く、低い位置での臭気が強いことがわかった。

低臭タイプは、1層目、2層目での差が小さかった。

通常タイプと同様に低い位置での臭気センサ値が高かった。

2) 臭気センサ値と臭気指数の関係

臭気センサ値と臭気指数の関係を図-12 に示す。両者には、正の相関関係がみられた。サンプル数を増やすことにより、臭気センサ値で人間の嗅覚に近い評価が可能になると考えられた。



写真 - 2 構内臭気測定状況

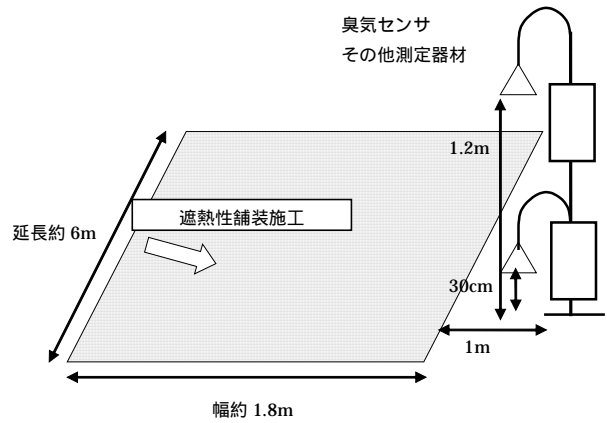


図 - 9 構内臭気測定略図

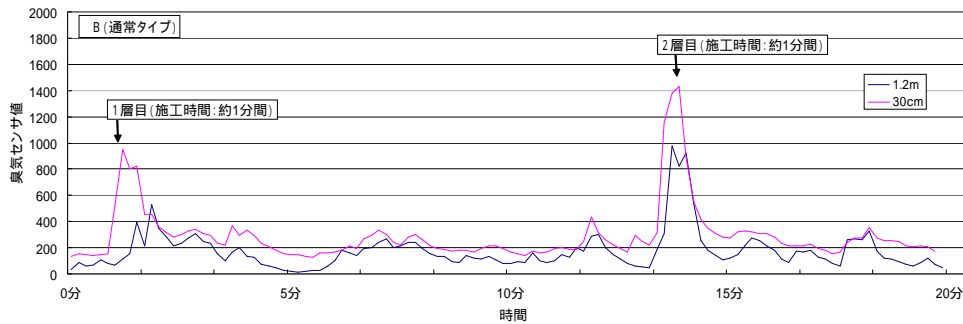


図 - 10 構内臭気測定結果 ( B (通常タイプ) )

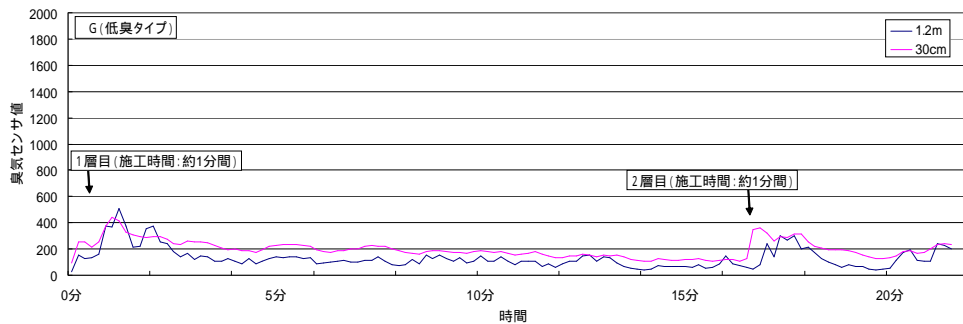


図 - 11 構内臭気測定結果 ( G (低臭タイプ) )

表 - 10 構内臭気測定結果

|   | 測定高さ | 臭気指数<br>(臭気濃度) | 臭気センサ値<br>(最大値) | 風向<br>風速          | 気温<br>湿度 |
|---|------|----------------|-----------------|-------------------|----------|
| A | 1.2m | 25 (320)       | 824             | 北 - 北北西<br>1.2m/s | 14.0     |
|   | 30cm | 30 (1000)      | 1419            |                   | 51%      |
| B | 1.2m | 20 (100)       | 975             | 北<br>1.6m/s       | 18.5     |
|   | 30cm | 30 (1000)      | 1432            |                   | 46%      |
| E | 1.2m | 26 (400)       | 471             | 静穏<br><0.4m/s     | 13.1     |
|   | 30cm | 29 (790)       | 489             |                   | 54%      |
| F | 1.2m | 15 (32)        | 116             | 南<br>1.4m/s       | 18.7     |
|   | 30cm | 26 (400)       | 108             |                   | 59%      |
| G | 1.2m | 19 (79)        | 508             | 南<br>0.5m/s       | 18.8     |
|   | 30cm | 26 (400)       | 442             |                   | 45%      |
| H | 1.2m | 16 (40)        | 328             | 南南西<br>0.6m/s     | 14.5     |
|   | 30cm | 22 (160)       | 514             |                   | 66%      |
| I | 1.2m | 17 (50)        | 80              | 静穏<br><0.4m/s     | 9.6      |
|   | 30cm | <12 (<16)      | 105             |                   | 84%      |
| K | 1.2m | 22 (160)       | 580             | 北 - 北北西<br>1.1m/s | 16.4     |
|   | 30cm | 26 (400)       | 777             |                   | 51%      |

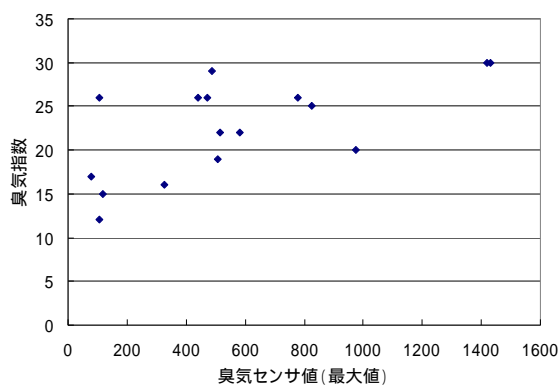


図 - 12 臭気センサ値と臭気指数の関係

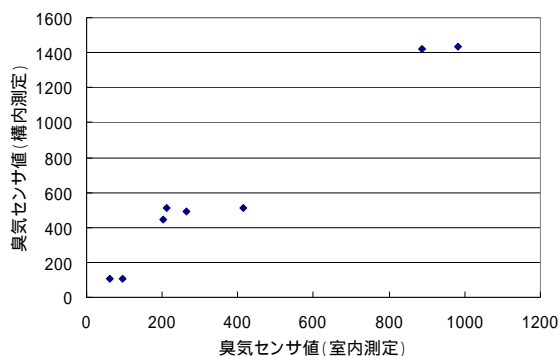


図 - 13 室内測定と構内測定の比較 (臭気センサ値)

3) 風向、風速、温度、湿度が臭気に及ぼす影響

風向は、建物の影響もあるが北ないし南で、風速は静穏(0.4m/s未満)~1.6m/sであった。また、気温は、9.6~18.8、湿度は45~84%の間であった。これらと、臭気センサ値、臭気指数との関係は、明確に示すことができなかった。

4) 室内測定と構内測定の臭気センサ値の比較

室内臭気測定(臭気測定試験器による試験)と構内臭気測定(屋外で実施した臭気測定)について臭気センサの測定結果の関係を図-13に示す。臭気センサ値は、それぞれ最大値で比較した。両者には、正の相関関係がみられた。

室内臭気測定では風速は、風速0.2m/sであり、今回の構内臭気測定の風速より弱い条件で実施したものであるが、室内臭気測定の結果より屋外での臭気の状態を予想することが可能と考えられた。

4. まとめ

今回得られた結果は、以下のとおりである。

今回試作した室内臭気測定器により通常タイプと低臭タイプの判別が可能である。

通常タイプの揮発性成分は、MMAが主体で、強い臭気が短時間に発生し徐々に低下することがわかった。

低臭タイプは、揮発性成分にMMAも含まれるが、複数の物質が含まれていることがわかった。通常タイプと比較して、臭気は徐々に発生し、低いピークが10分程度続くことが分かった。

室内臭気測定により屋外での臭気の状態を予想することが可能と考えられた。

臭気センサ値と臭気指数には、正の相関関係がみられた。サンプル数を増やすことにより、臭気センサ値で人間の嗅覚に近い評価が可能である。

参 考 文 献

1)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