

関連資料

## [ 1 ] 蒸発性能試験法（概要版）

### 評価対象とする舗装ブロック

評価対象とする保水性舗装ブロックは、既往研究によって蒸発特性が概ね明らかであるインターロッキングブロックまたはこれと準じる形状のブロック製品とする。平面寸法 20cm×20cm 以下、厚さ 8cm 以下とし平板状の形状とする。また、日射反射率試験が適用できるように、ブロック表面は無地（単色）かつ凸凹がない平滑な表面仕上げであることを原則とする。

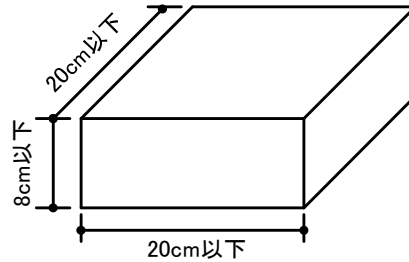


図 評価対象とするブロックの寸法

### 蒸発試験の概要

供試体は、静水中で 24 時間含水させた後、気温 40℃ 相対湿度 50% の一定条件の雰囲気中で蒸発試験を行う。供試体の質量変化より蒸発量を測定し、その結果より求めた 10 時間平均の蒸発効率を評価する。

# 1. 蒸発性能試験法

## 1.1. 用語の定義

供試体 : 試験対象のブロックの側面を断湿加工したものを供試体という。

蒸発速度 : 単位時間あたりの蒸発量を蒸発速度という。

蒸発効率 : 供試体の蒸発速度と十分湿らせた表面からの蒸発速度の比を蒸発効率という。本試験法では、蒸発開始から 10 時間後に測定した供試体の平均蒸発速度を、供試体と同じ温度を持つ水面（仮想面）からの平均蒸発速度で除して求める。

## 1.2. 蒸発試験用試験装置

図 1-1 に示すように、恒温恒湿槽内などの気温・相対湿度を 40℃・50%一定に保つことのできる空間の中に、風除けのための内箱を設け、秤量用の電子天秤と供試体を設置する。

供試体上面を常に微風が通るよう内箱には吸気口と排気口を設け、流路を形成する。排気口にファンを取り付け、供試体表面において、設定温湿度と風速が一定に保たれるようにする。供試体表面の湿気伝達率が  $6 \times 10^{-8} \text{ kg m}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$  程度（風速 約  $1 \text{ m s}^{-1}$  に相当）となるようファンの風量を調整する。

試験対象とするブロックの側面全てをアルミテープ断湿して、供試体を作製する。ブロックの寸法は  $200\text{mm} \times 200\text{mm} \times 80\text{mm}$  以下とし、加工せずに用いることを原則とする。製品寸法がこれより大きい場合は、加工してこの寸法に納める。また、製品寸法がこれより小さい場合は、複数個を組み合わせて、この寸法に近づける。

供試体が隙間なく収まるような断熱容器を製作し、供試体をその容器に納める（図 1-2 参照）。断熱容器は底面と側面を厚さ 30mm 以上の断熱材（ポリスチレンフォームなど）で製作する。容器内表面が供試体と接する部分は、アルミテープ等を貼り付け水密性とする。

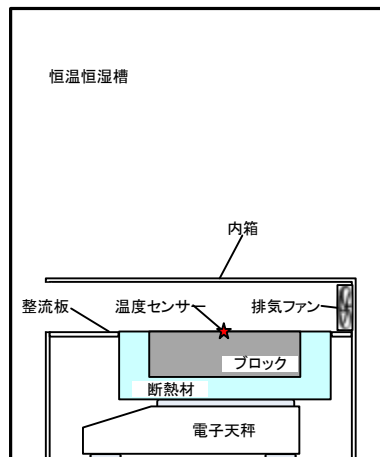


図 1-1 試験装置の概要

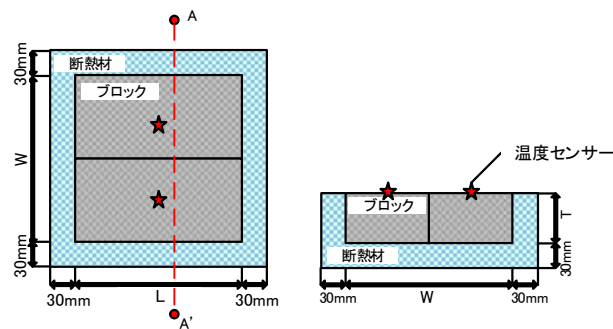


図 1-2 断熱容器の例

供試体の養生から試験に至るまでの手順

- 手順 1 供試体を 15～25℃の静水中で 24 時間含水させる。
- 手順 2 水中から供試体を取り出し、密閉容器内に入れ、15～30℃の室内で 30 分間水を切る。
- 手順 3 供試体を断熱容器に入れ供試体を作成し、供試体表面をプラスチックフィルムで覆い、恒温恒湿槽に設置する。
- 手順 4 恒温恒湿槽内を温度 40℃、相対湿度 50%とし、槽内で供試体を 3 時間以上馴染ませる。
- 手順 5 供試体表面のプラスチックフィルムを取り除き、24 時間蒸発させる。

測定項目・センサー精度など

- ✓ 測定項目
  - 供試体表面温度（2 点以上）
  - 供試体上部空気温度・湿度（各 1 点）
  - 供試体質量
- ✓ 測定に使用するセンサーや機器類は、次の測定精度を持つことを目安とする。

- 電子天秤：最小表示 0.1g 以下とする。
- 温度センサー：T 型熱電対（クラス 1）以上の精度を持つこと。  
（供試体表面温度を測る場合は接着剤等で供試体と密着させる区間を 15mm 以上確保すること）
- 湿度センサー：20℃における相対湿度が±2%の精度
- ✓ 温度、湿度、質量の測定間隔： 1 分

試験結果報告書の付属資料として記載の必要な項目

- ✓ 供試体の湿気伝達率
- ✓ 試験中の温度、湿度、質量の経時変化  
供試体上部空気温度・湿度、試験体表面温度、供試体質量

### 1.3. 供試体の湿気伝達率の測定

供試体表面における湿気伝達率について、次の測定手順で測定を行う。使用するセンサーや機器類、測定間隔は蒸発試験に準じるが、ろ紙の秤量については連続的に行う必要は無い。

- ・ろ紙：厚さ 1mm 程度、平面寸法は供試体と同程度のサイズ。
- ・温度センサー<sup>1</sup>をろ紙中央付近の表面直下に挿入する。
- ・ろ紙はアクリル板に貼り付ける。
- ・供試体容器にろ紙を貼り付けたアクリル板を載せ、ろ紙を濡らした状態で 5 分間設置し、蒸発面温度を環境に馴染ませる。その後蒸発を開始し、30 分経過後に秤量を行い、湿気伝達率を算出する。
- ・同一の試験装置を用いて複数回の試験を行う場合など、供試体の湿気伝達率が過去の測定値と同じとみなせる場合は、新たに湿気伝達率を測定する必要は無い。

式(1)により平均蒸発速度を求める。蒸発試験開始前のろ紙質量  $W_{p0}$  から蒸発開始 30 分後の質量を差し引くことにより蒸発量を求め、30 分(1,800 秒)で除して蒸発速度  $E_p$  を得る。次に湿気伝達率を式(2)により求める。飽和水蒸気圧  $f_{ps}(i)$  は、所定の時間間隔で測定されたろ紙表面温度  $T_{ps}(i)$  をもとに、温度と飽和水蒸気圧の関係式<sup>3</sup>により計算して求める。

$$E_p = \frac{W_{p0} - W_{p30}}{1800 \cdot A_p} \quad (1)$$

$E_p$ ：蒸発開始後 30 分(1,800 秒)までの平均蒸発速度[kg m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>]、 $W_{p0}$ ：蒸発開始時のろ紙質量 [kg]、 $W_{p30}$ ：蒸発開始から 30 分後のろ紙質量 [kg]、 $A_p$ ：ろ紙の面積[m<sup>2</sup>]

$$\alpha'_{pm} = \frac{E_p}{\frac{1}{30} \cdot \sum_{i=1}^{30} [f_{ps}(i) - f_{pa}(i)]} \quad (2)$$

<sup>1</sup> 既往研究ではφ1mm 程度のサーミスタまたはシース熱電対を用い、ろ紙の表面直下に 15mm 以上の長さで挿入して計測する例があるが、同等の精度が確保できればこれ以外の方法でも良い

<sup>2</sup> 表面はプラスチックフィルムで覆うことにより蒸発を防止する

<sup>3</sup> 例えば Goff-Gratch の式や Wexler-Hyland の式、Sonntag の式など

$\alpha'_{pm}$  : 蒸発開始後 30 分までの平均湿気伝達率 [ $\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1} \text{Pa}^{-1}$ ]、 $f_{ps}(i)$  : ろ紙表面の時刻  $i$  における飽和水蒸気圧[Pa]、 $f_{pa}(i)$  : ろ紙上部空気の時刻  $i$  における水蒸気圧[Pa]

#### 1.4. 蒸発効率の計算

式 (4) により蒸発効率を求める。供試体表面の飽和水蒸気圧  $f_{bs}$  [Pa] は、所定の時間間隔で測定された供試体表面温度  $T_{bs}(i)$  をもとに、温度と飽和水蒸気圧の関係式<sup>3</sup>により計算して求める。

$$E_b = \frac{W_{b0} - W_{b600}}{36000 \cdot A_b} \quad (3)$$

$E_b$  : 蒸発開始後 10 時間 (36,000 秒) までの平均蒸発速度 [ $\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ]、 $W_{b0}$  : 蒸発開始時の供試体質量 [kg]、 $W_{b600}$  : 蒸発開始から 10 時間(600 分)後の供試体質量 [kg]、 $A_b$  : 供試体上面の面積 [ $\text{m}^2$ ]

$$\beta = \frac{E_b}{\alpha'_{pm} \cdot \frac{1}{600} \cdot \sum_{i=1}^{600} [f_{bs}(i) - f_{ba}(i)]} \quad (4)$$

$\beta$  : 蒸発開始後 10 時間(600 分)までの平均蒸発効率[無次元]、 $f_{bs}(i)$  : 供試体表面の時刻  $i$  における飽和水蒸気圧[Pa]、 $f_{ba}(i)$  : 供試体上部空気の時刻  $i$  における水蒸気圧[Pa]

## 2. 認証基準値の考え方

### 2.1. 蒸発性能試験法の選定

保水性舗装には、車道用に使われるアスファルト系舗装と、歩道や自転車道に使われるインターロッキング舗装ブロック（コンクリート系舗装）があり、その材料や製法は全く異なっており、これらを一律に取り扱うことはできない。したがって本認証では、大阪 HITEC 保水性舗装 SWG において実験と検討が進んだインターロッキング舗装ブロックを対象とする。

保水性舗装のヒートアイランド緩和機能は、夏季の日中のような強い日射と高い気温の下で、表面温度の上昇を抑制する機能として発揮される。従来、その機能を評価する試験方法として、次に示す a) または b) の 2 つの方法が用いられてきた。

#### a) 施工された舗装区画における屋外暴露試験

実際に施工された舗装面において、温度計を設置し表面温度を測定する方法であり、試験施工された保水性舗装について、効果を検証する際に多く用いられている。直接的に効果を判定できる良い方法であるが、測定条件はまさに天気任せであり、同じ条件のもとで測定を繰り返すことができないことが大きな欠点である。本認証で対象とする工業製品の試験法としては、多数の製品を同一の試験条件で評価できないので適当ではない。

#### b) ランプ照射を用いた室内試験

路面温度上昇抑制舗装研究会(旧 保水性舗装技術研究会)によって、屋外の夏季晴天日の日中の気象条件に模した環境を室内に形成して、その時の表面温度を測定する方法が提案されている<sup>1)</sup>。太陽光の代替としてランプ（電球）照射が使われているが、ランプの波長特性は一般に太陽光とはかなり異なり近赤外の成分が大きく、単純に太陽光の代替と見なすことには問題がある。また、ランプを含む試験装置を、温度・湿度を一定に制御した装置内に設置して試験する必要がある、かなり大型の恒温恒湿槽または人工気候室が必要になり、試験を実施できる施設が自ずと限定される。ランプの波長の問題は、太陽光に近い波長特性を持つソーラーシミュレータを用いれば解消するが、光源自体が大がかりな装置であり、さらに高度な試験装置を必要とする。

#### c) 日射反射性能と蒸発性能を個別に求める室内試験

保水性舗装の温度上昇抑制効果は、水分蒸発に伴う効果と、日射反射に伴う効果の 2 つから成り立っている。この 2 つの効果は、概ね独立しており、温度上昇抑制効果は、この 2 つの効果の足し合わせと考えることができる。日射反射性能と蒸発性能を個別に求める試験法が採用できればランプ照射が不要となり、試験装置は小型で簡易となる利点がある。日射反射の効果については、日射反射率を指標として表すことができ、日射反射率の試験法は、「塗膜の日射反射率の求め方(JIS K 5602)<sup>2)</sup>」として試験法が確立しており、これに準じて試験を行うことができる。

一方、保水性舗装に期待する主たる機能である水分蒸発に関わる物性を求める試験法については、複数の方法が提案されているが、JIS 等公的な規格としては成立していない。また試験法によって得られる評価値は、蒸発の物理モデルと関係づけられているのが望ましい。例えば、足永ら<sup>3)</sup>は蒸発理

論に忠実な熱水分移動同時移動方程式を蒸発モデルとして採用し、これに必要な物性値を得る方法として、水銀圧入法により細孔径分布の測定し水分特性曲線を得て、さらに水分伝導率を求める試験法を提案している。一方、西岡ら<sup>4)5)</sup>は、インターロッキングブロックの蒸発性状は、恒率蒸発期間と減率蒸発期間の二期に分けて取り扱う線形水分独立方程式にも基づく簡易蒸発モデルを提案しており、蒸発速度の経時測定により蒸発効率（恒率蒸発期間の特性値）と水分浸透率（減率蒸発期間の特性値）を求める試験法を提案している。熱水分同時移動方程式と比べると、線形水分独立移動方程式は適用範囲が限定されるが、必要な水分物性が少なく、簡単な実験で容易に求められるという利点がある。

以上において蒸発性能を判定する試験方法を概括したが、本認証ではその基準を以下の方針で定めることとし、試験法として西岡らの方法を採用することとした。

- ・ 認証基準では、基準値として「水分飽和後、所定時間内に蒸発する水分量」を定めることにする。
- ・ 日射反射性能と蒸発性能を個別に求める試験方法は、試験が簡素で、高度な設備や装置を必要としない利点があるので、これを採用する。直接的に温度上昇抑制効果を試験で求めることができないのが欠点であるが、試験で求められた性能指標から、温度上昇抑制効果を推定することは可能である。
- ・ 西岡らの方法は、試験の実施が容易であり、上記の「所定時間」において必要な判定精度を有するので、これを採用する。

## 2.2. 恒温恒湿槽内の蒸発と屋外暴露時の蒸発の比較

屋外における蒸発性能と恒温恒湿槽で試験する性能の対応関係を見るために、恒温恒湿槽試験と屋外暴露試験を比較する。屋外暴露試験では、事前に十分湿潤させた試験体を用い、10時から蒸発を開始し、16時まで蒸発させてその蒸発量は電子天秤により重量変化を計測する。図 2-1 では、恒温恒湿槽内の 10 時間の蒸発量と、屋外での 6 時間の蒸発量を比較したが、両者はほぼ同じ値になっている。屋外と恒温恒湿槽内ともにブロック表面温度は 30℃～40℃と概ね同じであるが、屋外では日射があることまた風の影響によって 1.6 倍程度蒸発量が大きくなっている。ブロック毎のばらつきはあるものの、恒温槽で蒸発が大きいブロックは屋外でも蒸発が大きいという傾向は明確に現れている。また、ブロックの日射反射率は 0.15～0.54 と暗色から明色までの範囲を含んでいますが、屋外測定の結果にはその大小によって蒸発量が影響された様子は現れていない。日射反射率はブロック表面温度には大きく影響することが知られているが、蒸発量に対する影響は小さいことが実験結果で確認された。したがって、蒸発試験と日射反射試験を独立に評価することについて問題は無いと言えるだろう。



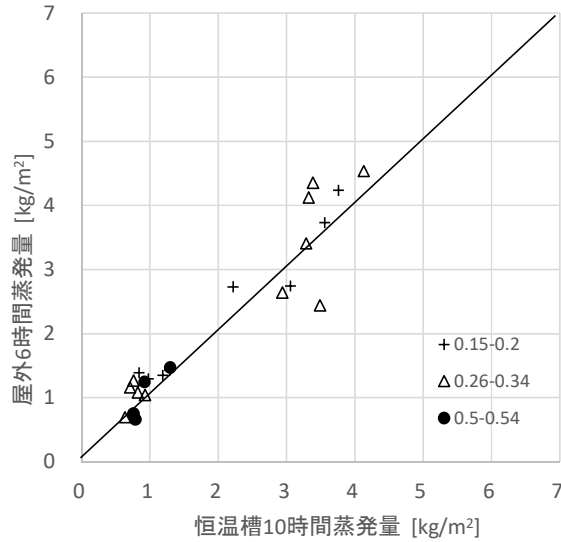


図 2-1 恒温恒湿槽と屋外暴露実験による蒸発量の比較

屋外での蒸発量計測は、2012年9月13日に実施し、恒温恒湿槽試験と同様の試験体(ブロックは、表面を除き5面を断湿・断熱)した。通常ブロック6種(11個体)、保水性ブロック6種(12個体)である。日射反射率は3区分(0.15~0.2、0.26~0.34、0.5~0.54)して示した。実験の詳細は参考文献6)を参照。

### 2.3. 10時間蒸発量と恒率期蒸発量の関係

恒温恒湿槽において測定した10時間蒸発量と、この内に恒率蒸発期間において蒸発した量(恒率期蒸発量)を図2-2に示す。10時間蒸発量が $2\text{kg/m}^2$ に満たない蒸発性能の低いブロックを除くと、10時間蒸発量と恒率期蒸発量に線形的関係がみられる。この結果を踏まえ、蒸発時間10時間の蒸発性能を表す指標として蒸発効率を用いることにした。

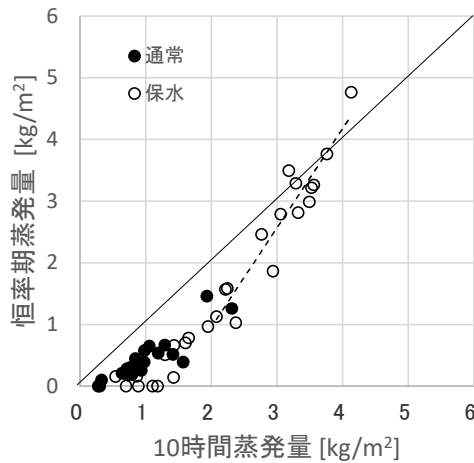


図 2-2 10時間蒸発量と恒率期蒸発量の比較

恒温恒湿槽試験における通常ブロック8種(22個体)、保水性ブロック10種(28個体)の測定値。

図中の破線は、10時間蒸発量が $2\text{kg/m}^2$ を超えるブロックに対する回帰直線

## 2.4. 表面温度に対する日射反射率と6時間平均蒸発効率の関係

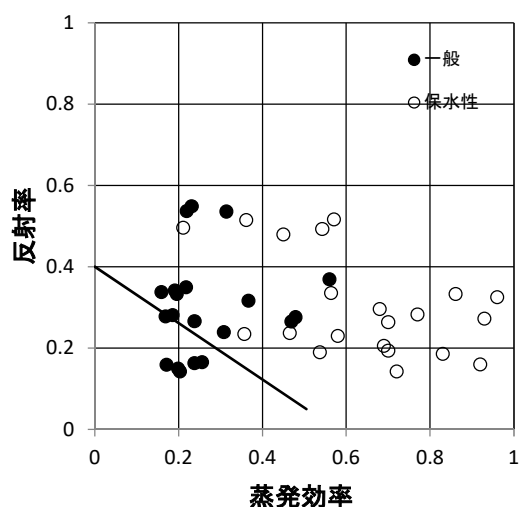


図 2-3 ブロックの蒸発効率と反射率

ブロックは図 2-2 に示すものと同じ（一部計算していないものあり）。

蒸発効率は、数値シミュレーション（ランプ照射条件）による計算値。

図中の実線は蒸発効率 0・反射率 0.4 と、蒸発効率 0.6・反射率 0 を結ぶ直線である。

蒸発シミュレーション(ランプ照射条件)により、0-6 時間の平均蒸発効率を求め、その結果をもとに基準値を設定する。シミュレーションでは、線形水分移動方程式と熱移動方程式を連立して、数値計算を行った。

先行して実施されている高日射反射率舗装における認証基準値では、初期の日射反射率 40%以上としており、これに準じて、保水性舗装においても、これと同等の温度低減効果を持つ製品に対して認証を付与することにした。数値シミュレーションによれば、蒸発効率 0.6、反射率 0 の条件は、蒸発効率 0、反射率 40%と同等の温度低減効果を持つことが確認された。図 2-3 において、この 2 点を結ぶ直線とともに、供試体の物性値を示す。供試体の物性値として用いる蒸発効率は、蒸発開始から 6 時間経過後までの平均の蒸発効率である。この基準線の上側に属する供試体は、高日射反射率舗装の認証基準と同等の温度低減効果を持つことを意味する。

### 参考文献

- 1) 保水性舗装技術研究会, 「保水性舗装の室内照射試験方法」,  
[http://www.coolhosouken.com/images\\_h2/Test.pdf](http://www.coolhosouken.com/images_h2/Test.pdf)
- 2) 日本工業規格 JIS K 5602 「塗膜の日射反射率の求め方」
- 3) 足永靖信, 武田仁, 藤本哲夫: 保水性建材の熱水分特性に関する屋外実験と数値解析. 日本建築学会環境系論文集, 76(667), 823-830, 2011

- 4) 崎浩二, 西岡真稔ほか: 保水性舗装の実用的水分蒸発モデル作成に関する研究 (その 2), 日本建築学会学術講演梗概集, D-2, pp.337-338, 2008
- 5) 横田友和, 西岡真稔ほか: 保水性舗装の実用的水分蒸発モデルに関する研究 (その 2), 日本建築学会学術講演梗概集, D-2, pp.941-942, 2013
- 6) 横田友和, 西岡真稔ほか: 保水性舗装の実用的水分蒸発モデルに関する研究 (その 3), 日本建築学会学術講演梗概集, D-2, pp.943-944, 20