

露出防水における遮熱・断熱の効果

早稲田大学理工学術院
創造理工学部建築学科／
創造理工学研究科建築学専攻
教授 奥石直幸

1. はじめに

空調消費エネルギーの削減等を意図し、屋根や外壁など**建物外皮**に、**遮熱性**や**断熱性**の向上が求められている。しかし、遮熱・断熱の効果は、屋根や外壁の部材構成(構法)、屋外・屋内の温熱環境などに依存するため、設計段階でそれを適正に評価する必要があるが、現状では行われていない。

本発表では、陸屋根の**露出防水**を対象とし、**遮熱・断熱**の効果に関して実施している研究の概要を紹介する。

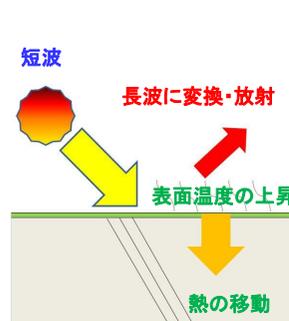
<発表の内容>

1. 遮熱・断熱防水の概要
2. 実建物における陸屋根各部の温度測定
3. 定常伝熱計算による遮熱・断熱効果の評価
4. 屋外に暴露した防水層における日射反射率の持続性
5. 発泡プラスチック系断熱材の熱伝導率の上昇

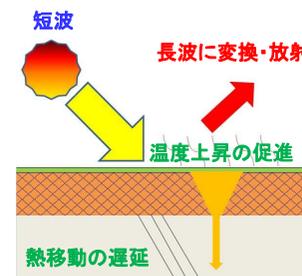
1. 遮熱・断熱防水の概要

断熱と遮熱

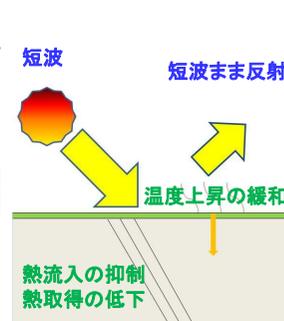
【露出防水】



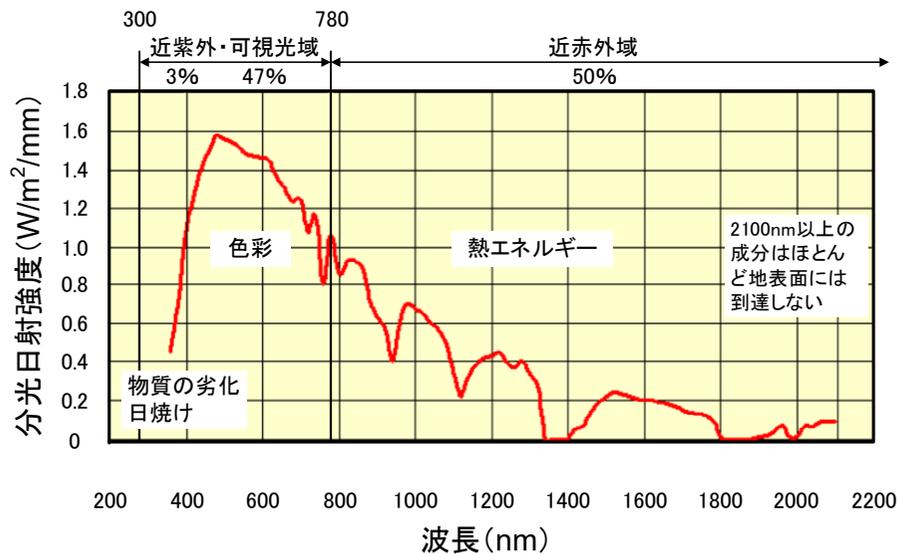
【断熱露出防水】



【遮熱露出防水】

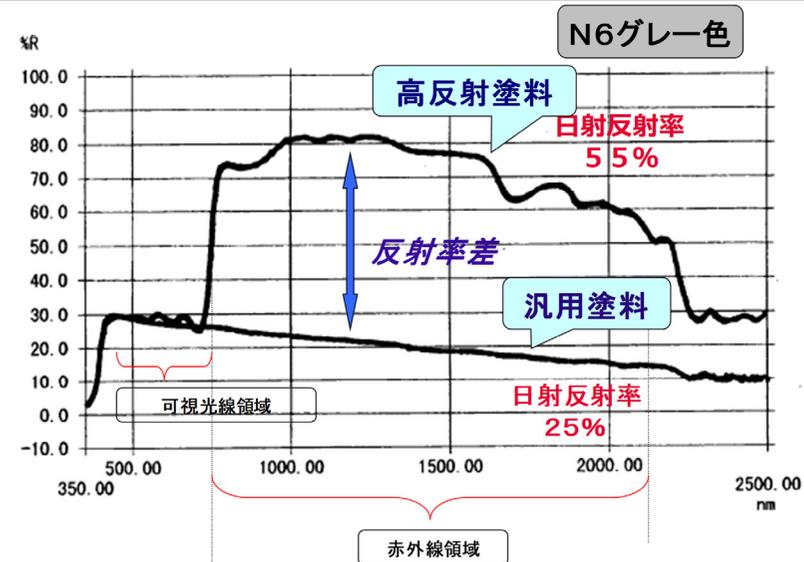


分光日射強度(太陽光の波長分布)



4

防水材の分光日射反射率(例)



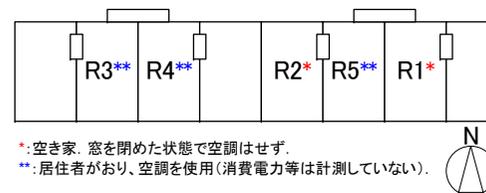
資料提供: 合成高分子ルーフィング工業会 (KRK)

5

2. 実建物における陸屋根各部の温度測定

建物概要および測定方法

<住戸の配置図>



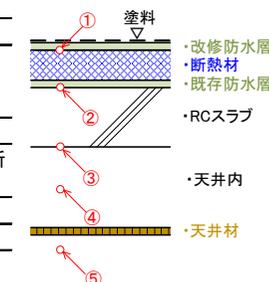
*: 空き家。窓を閉めた状態で空調はせず。

** : 居住者がおり、空調を使用(消費電力等は計測していない)。

<防水の仕様>

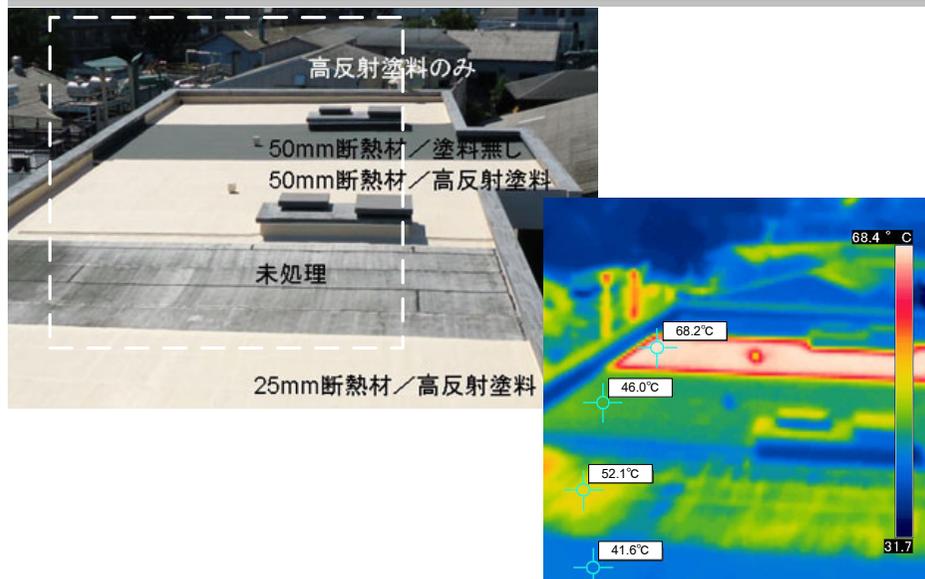
記号	仕様の説明
R1(露出)	約20年前に、新築時の防水層を全面撤去し、アスファルト防水層と新設した露出仕様。シルバークーリング塗料はほとんど減耗し、ほぼ無塗装状態。
R2(遮熱)	既存防水層に高日射反射率塗料を塗布。
R3(断熱50)	既存防水層を残したまま、50mmの断熱材と新規アスファルト防水層を設置。
R4(遮熱断熱50)	R3に遮熱塗料を塗布。
R5(遮熱断熱25)	R4の断熱材を25mmに変更。

<温度の測定位置>



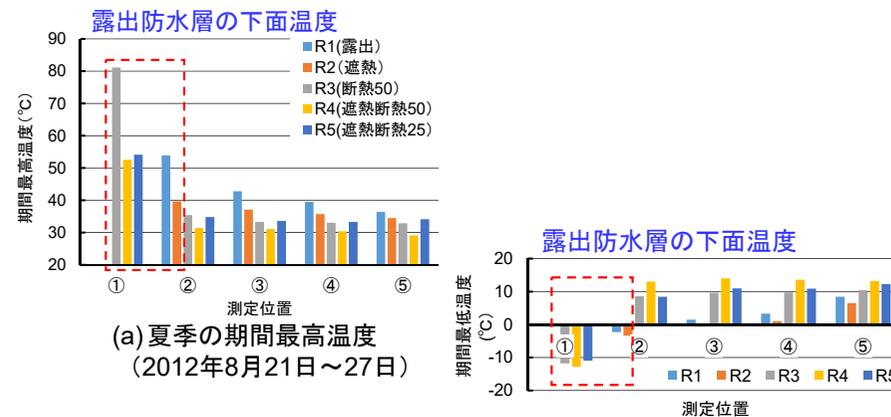
7

サーモグラフによる防水層の表面温度



8

測定結果(陸屋根各部温度)

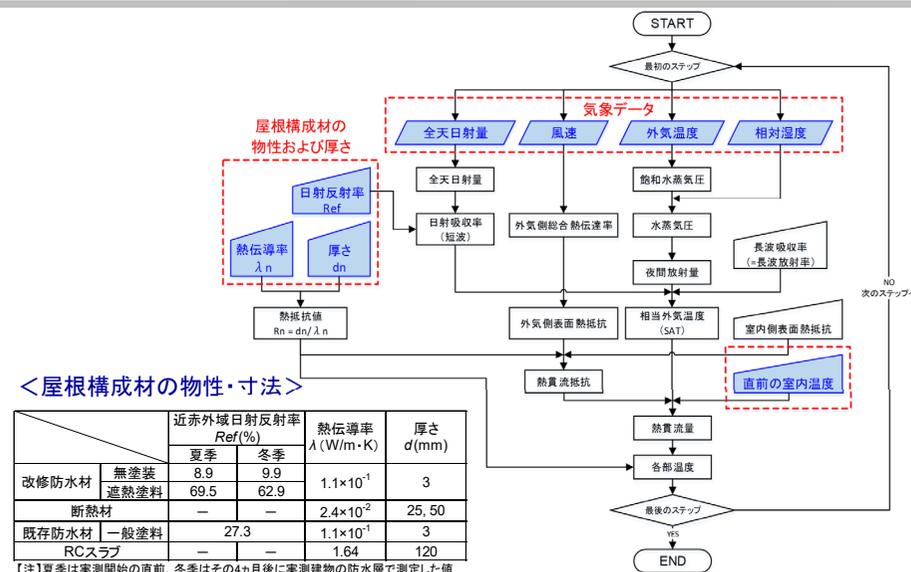


【文献1】工藤勝、町田繁、中沢裕二、奥石直幸:実建屋でのアスファルト露出防水仕様の各部位温度の実測結果とその考察、日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道)、材料施工1360、pp.719-720、2013年8月

9

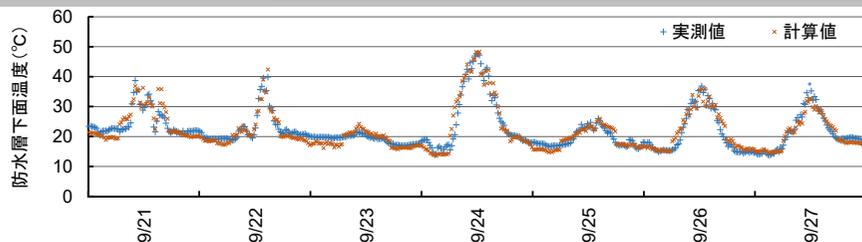
3. 定常伝熱計算による遮熱・断熱効果の評価

解析方法

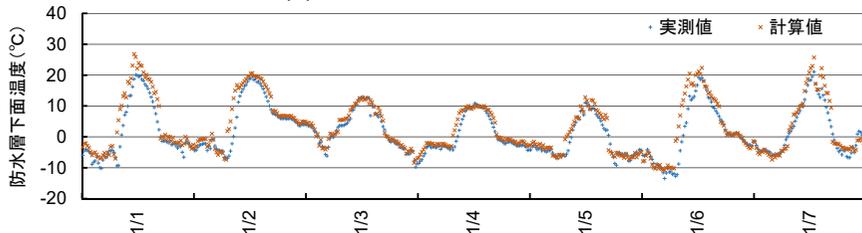


11

解析モデルの検証(遮熱断熱仕様R4の場合)



(a)夏季(2012年9月21日~27日)



(b)冬季(2013年1月1日~7日)

解析による遮熱・断熱効果の評価

<屋根部材の物性・厚さ>

		近赤外域日射反射率		熱伝導率 λ	厚さ (mm)
		初期値	1年後		
アスファルト 防水層	一般塗装	54.5	40.9	1.1×10^{-1}	3
	遮熱塗料	76.9	57.7		
断熱材		—		2.4×10^{-2}	0, 30, 70
RCスラブ		—		1.64	120

【注】近赤外域日射反射率の保持率は、暴露試験の結果に基づき、暴露1年後の国内6箇所の平均値0.75を用いた。

<室内側の温度>

春季(4~5月) :23°C
 夏季(6~9月) :30°C
 秋季(10~11月):23°C
 冬季(12~3月) :15°C

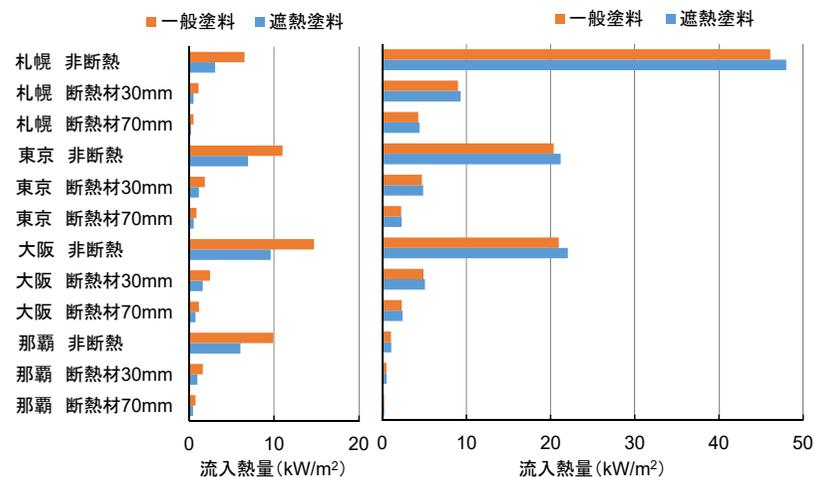
<比較した地域>

札幌(北海道)
 東京(関東)
 大阪(関西)
 那覇(沖縄)

<評価項目>

空調負荷
 躯体保護効果
 防水層の寿命

流入熱量および流出熱量

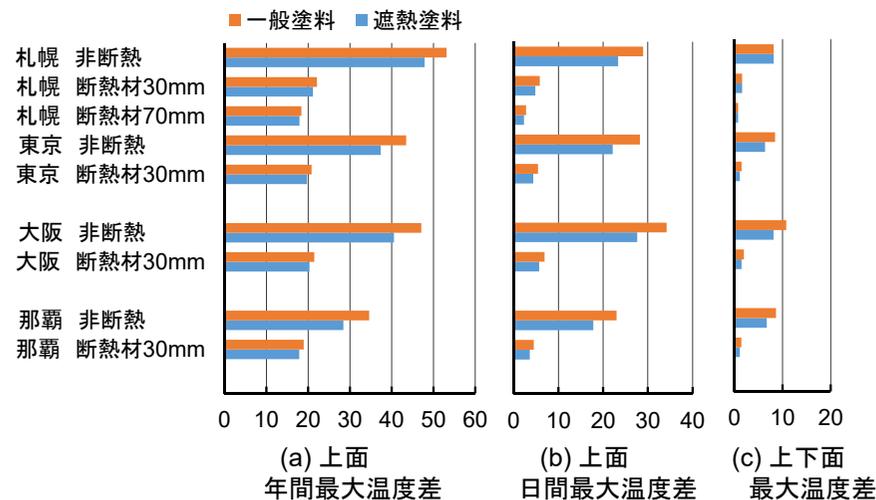


(a)夏季(8月)流入熱量

(b)冬季(2月)流出熱量

躯体保護効果(コンクリート温度の変化)

<RCスラブの温度>

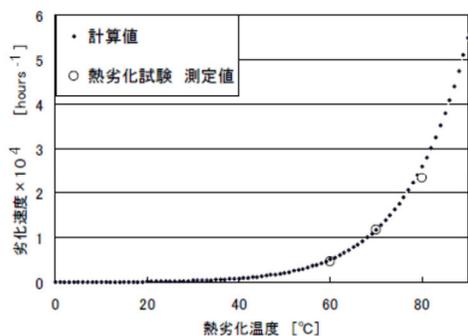


(a) 上面
年間最大温度差

(b) 上面
日間最大温度差

(c) 上下面
最大温度差

アスファルト防水層の耐用年数の予測手法



$$\ln\left[\frac{t_{ref}}{t}\right] = \frac{E}{R} \left[\frac{1}{T_{ref}} - \frac{1}{T} \right]$$

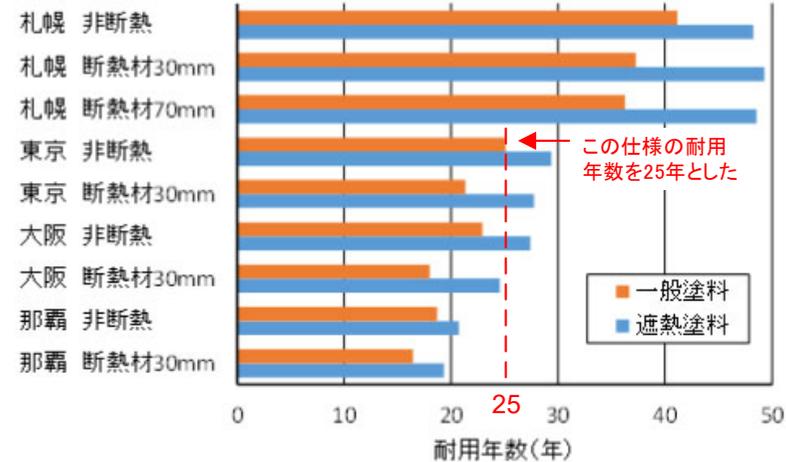
ここで、 T_{ref} = 基準温度
 t_{ref} = 基準温度で劣化する相当時間
 T, t = 実環境の温度と劣化時間

E: 活性化エネルギー (針入度が5に相当する熱劣化速度kを求め、アレニウスプロットの回帰直線の傾きより求めた)

【文献3】町田繁、中沢裕二、竹本嘉昭、松村宇、高根由充、清水市郎、富板崇、田中享二: 防水材料の耐候性試験 その27 アスファルト防水層の耐候性予測方法の提案、日本建築学会大会学術講演梗概集(北陸)、材料施工1028、pp.55-56、2010年9月

防水層の耐用年数

<アスファルト防水層>



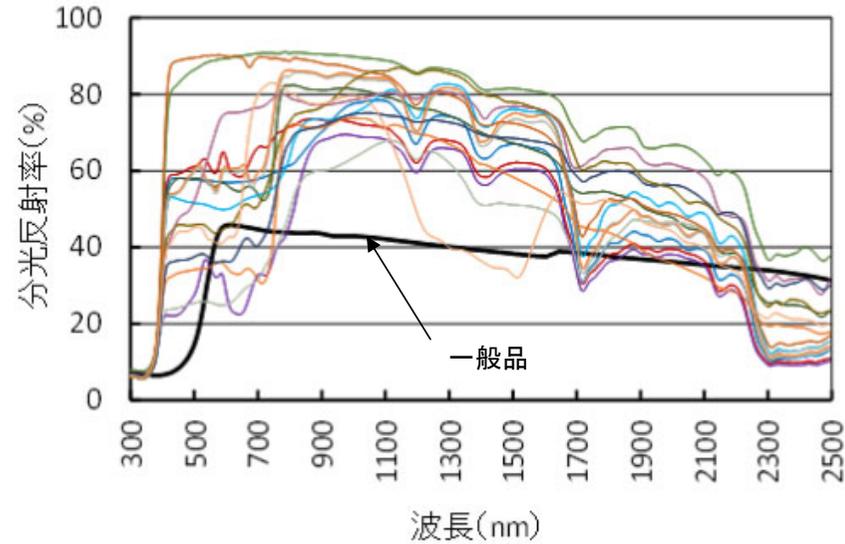
4. 屋外に暴露した防水層における日射反射率の持続性

奥石直幸、東海林隆史、清水市郎、田中享二: 屋外に暴露した各種メンブレン防水材料の日射反射率の変化、日本建築学会構造系論文集、第78巻、第690号、pp.1349-1357、2013年8月

防水材料の種類

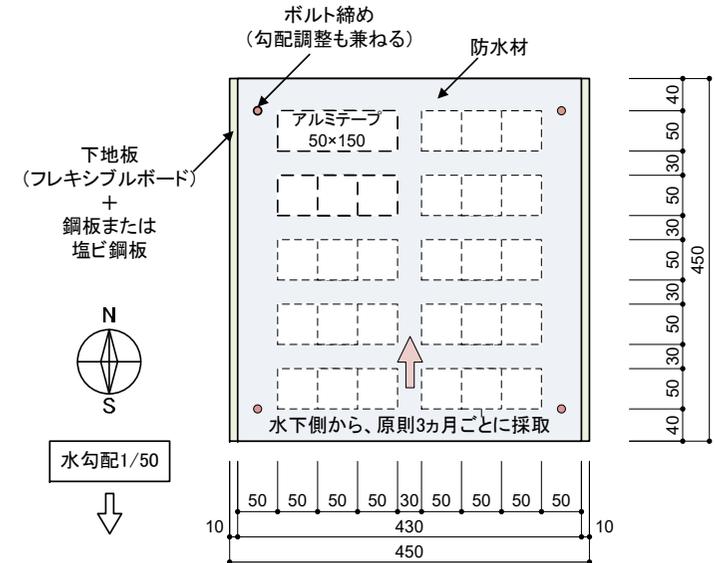
試料 No.	防水材料の種類	反射体の種別	色調	表面性状	暴露開始年月日
1	塩化ビニル樹脂系シート	練込みタイプ	パールホワイト	浅い凹凸面	2009年 4月1日
2	塩化ビニル樹脂系シート	練込みタイプ	ライトグリーン	浅い凹凸面	
3	塩化ビニル樹脂系シート	練込みタイプ	ライトグレー	浅い凹凸面	
4	塩化ビニル樹脂系シート	塗装タイプ	ライトグレー	平坦な面	
5	塩化ビニル樹脂系シート	練込みタイプ	ライトグレー	平坦な面	
6	加硫ゴム系シート	塗装タイプ	グレー	浅い凹凸面	
7	加硫ゴム系シート	塗装タイプ	ホワイト	浅い凹凸面	
8	塩化ビニル樹脂系シート	練込みタイプ	ライトグレー	平坦な面	
9	塩化ビニル樹脂系シート	塗装タイプ	ライトグレー	平坦な面	
10	塩化ビニル樹脂系シート	練込みタイプ	グレー	平坦な面	
11	塩化ビニル樹脂系シート	練込みタイプ	ホワイト	平坦な面	2010年 4月1日
12	アスファルト系ルーフィング	塗装タイプ	アイボリー	深い凹凸面	
13	アスファルト系ルーフィング	塗装タイプ	ライトグレー	深い凹凸面	
14	ウレタンゴム系塗膜防水材料	塗装タイプ	ライトグレー	平坦な面	
15	ウレタンゴム系塗膜防水材料	塗装タイプ	ライトグレー	平坦な面	

暴露した防水材の分光反射率



20

試験体の概要



資料提供: 日本建築学会防水工事運営委員会高日射反射防水WG

21

暴露地、周辺環境および暴露場所

暴露地	周辺環境	設置場所
茨城土浦	工業団地内(機械、食品、ゴミ処理場等). 交通量の多い国道沿い.	2階建て工場の屋上
栃木鹿沼	小規模な近代的工業団地内. 高速道路インターチェンジに近接. 朝夕も渋滞はほとんど無し.	2階建て工場の屋上
東京足立	小規模な工業が多かった地域. 現在は住宅地. 交通量の多い都道沿い.	3階建て工場の屋上
神奈川横浜	郊外の商業・住宅地. 高速道路・国道に近接. 周辺に田畑、斎場有り.	9階建て建物の屋上
滋賀甲賀	小規模工業団地内(電子機器等). 高速道路インターチェンジに近接. 朝夕も渋滞はほとんど無し.	平屋建て倉庫の屋上
広島福山	川と海に挟まれた半島状の地形. 北側に製鉄所有り.	平屋建て工場の屋上

22

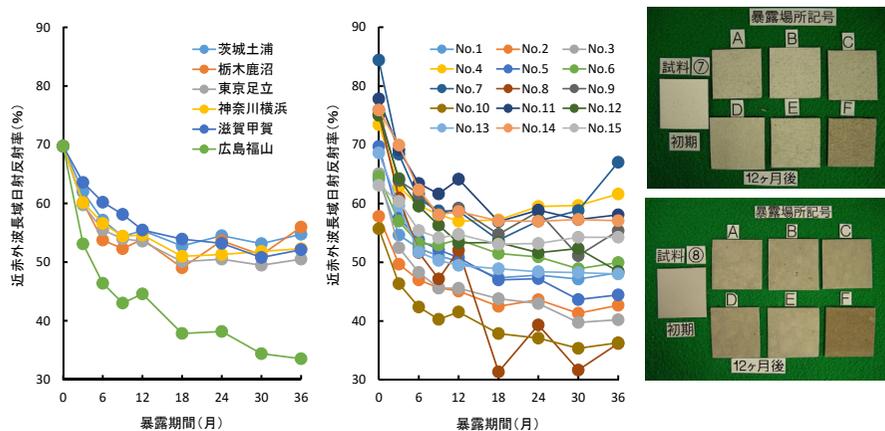
試験体の暴露状況



資料提供: 日本建築学会防水工事運営委員会高日射反射防水WG

23

近赤外域日射反射率の保持率

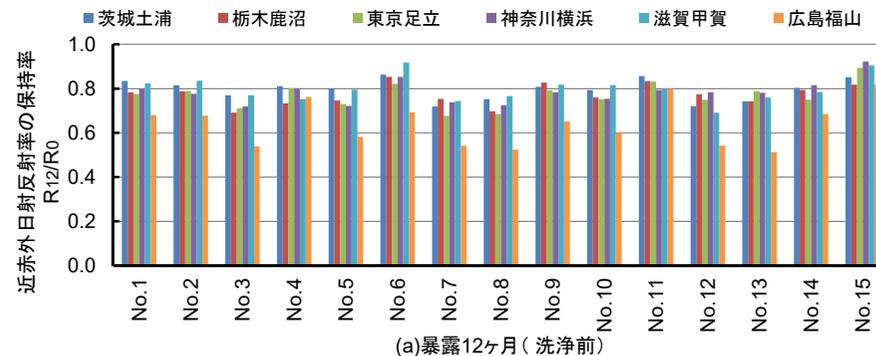


(a) 暴露地別

(b) サンプル別

【文献2】興石直幸、東海林隆史、清水市郎、田中享二：屋外に暴露した各種メンブレン防水材料の日射反射率の変化、日本建築学会構造系論文集、第78巻、第690号、pp.1349-1357、2013年8月

【洗浄前】日射反射率の変化(暴露12ヵ月)

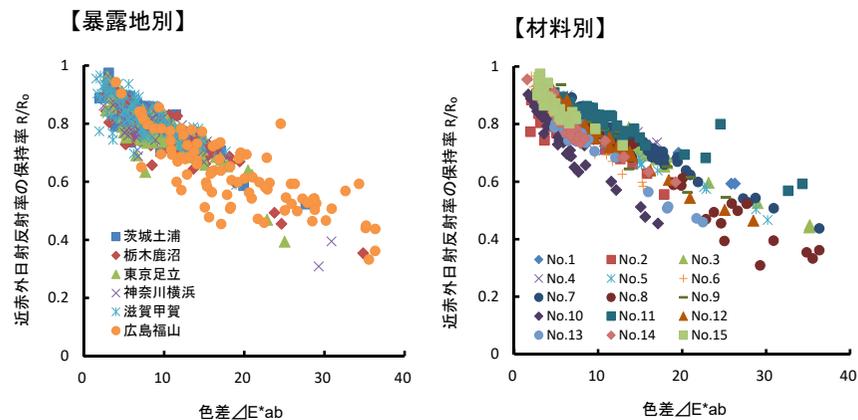


(a) 暴露12ヶ月(洗浄前)

日射反射率の低下の度合いは、防水材料の種類と暴露地の組合せによって異なり、その関係に明確な傾向は認められない。

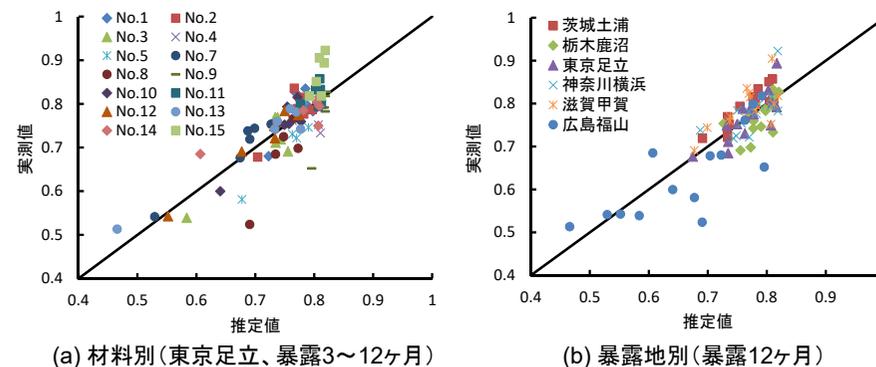
資料提供：日本建築学会防水工事運営委員会高日射反射防水WG

色差と近赤外域日射反射率の保持率の関係



日射反射率の保持率は色差との相関が強い。明度もほぼ同様
→目視やグレースケールでも評価が可能。

近赤外域日射反射率の保持率(暴露12ヶ月後)



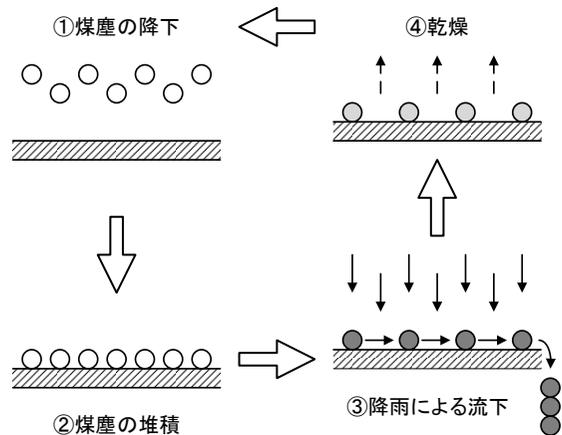
(a) 材料別(東京足立、暴露3~12ヶ月)

(b) 暴露地別(暴露12ヶ月)

$$R/R_0 = 0.0036Al_2O_3 - 0.0017Fe_2O_3 - 0.0036SiO_2 + 0.82$$

暴露防水材料を溶剤溶解・濾過(アスファルト系のみ高圧スチーム洗浄後に溶剤溶解・濾過)、ガククロマトグラフィで有機成分を定量したが油煙系炭素は少量

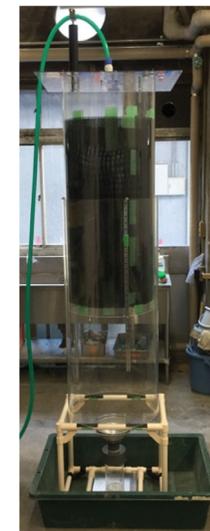
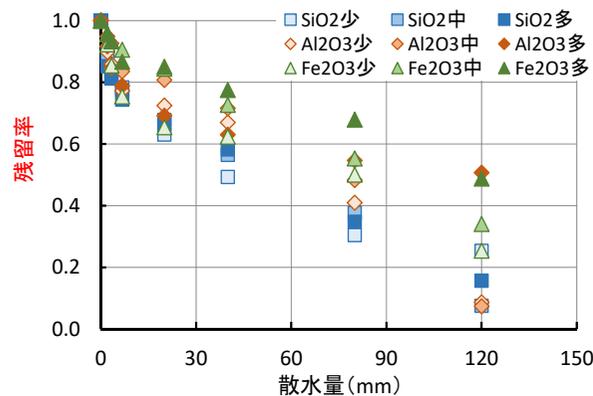
汚れの付着モデル



28

散水(汚れ洗浄)実験の結果

<散水量と汚れ残留率の関係>



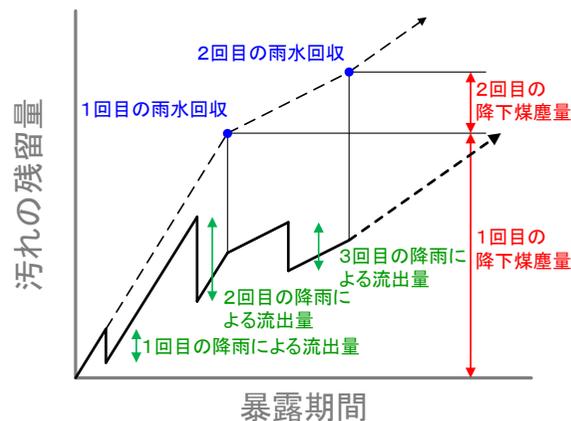
29

屋外暴露実験の方法と計算モデル

<屋外暴露実験の方法>

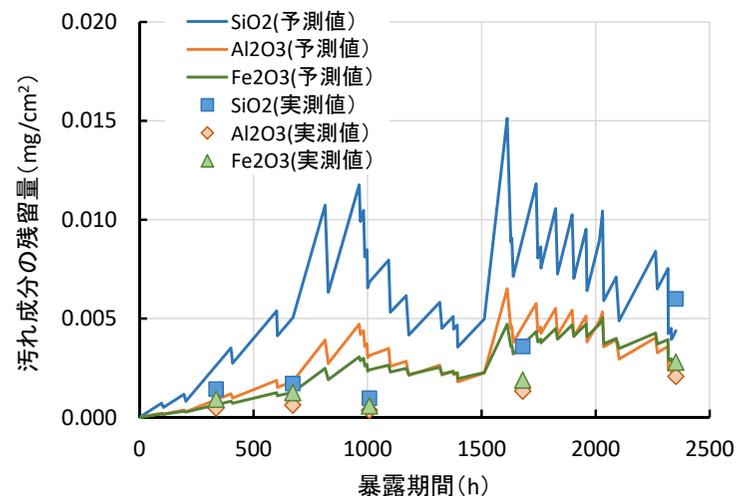
- 小片サンプルを都内の建物の屋上に暴露
- 雨水を捕集し、降下煤塵の成分を定量
- 降雨量を気象計で測定
- 適宜、付着成分を定量

<汚れ成分残留量の計算モデル>



30

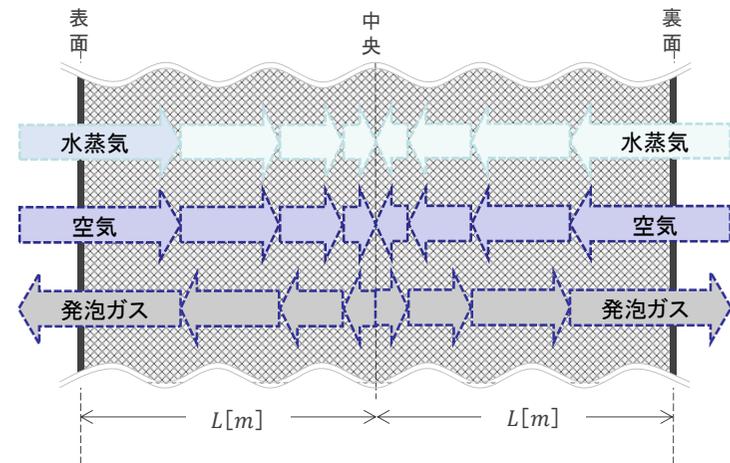
計算値と実験値の比較



31

5. 発泡プラスチック系断熱材の熱伝導率の上昇

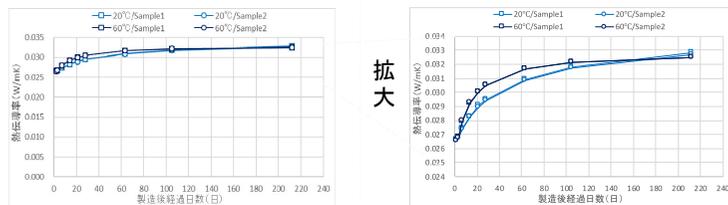
熱伝導率上昇の原因



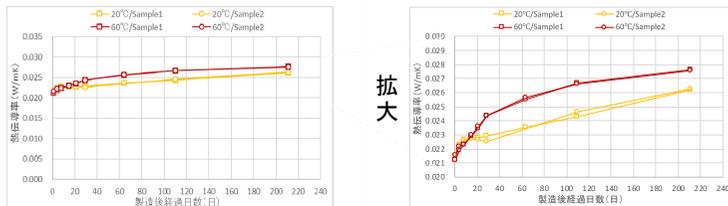
熱伝導率の経年変化の測定（被覆層あり）

発泡ガス残存量の経時変化（製品厚さ50mm）

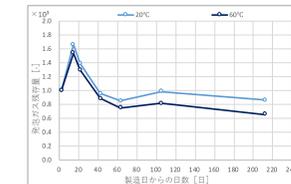
◇結果：熱伝導率の経時変化／製品厚さ50mm



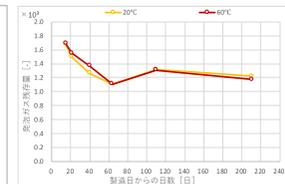
(a) 押出法ポリスチレンフォーム



(b) 硬質ウレタンフォーム



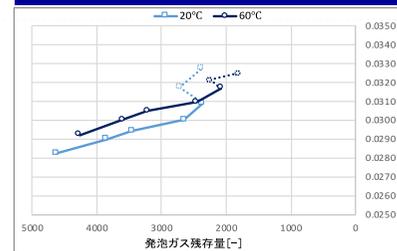
(a) XPS



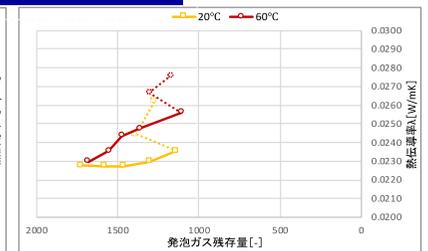
(b) PUF

- 主な発泡ガス構成気体
- 【押出法ポリスチレンフォーム】
- ① イソブタン（約28%）
 - ② ブタン（約34%）
 - ③ クロロエタン（約24%）
- 【硬質ウレタンフォーム】
- ① シクロペンタン

発泡ガス残存量と熱伝導率上昇量の関係



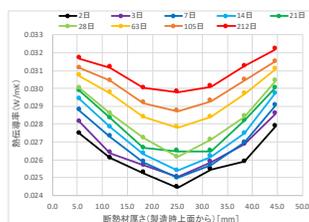
(a) XPS



(b) PUF

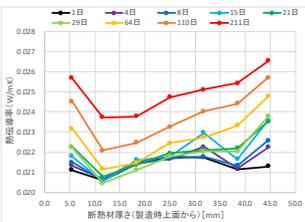
熱伝導率の層内分布

20℃曝露



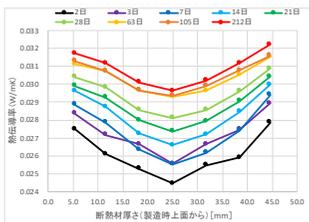
(a) 押出法ポリスチレンフォーム

表面 (3mm)		裏面 (3mm)	
① (12mm)	●	④ (10mm)	●
② (12mm)	●	⑤ (12mm)	●
③ (12mm)	●	⑥ (12mm)	●
		⑦ (10mm)	●

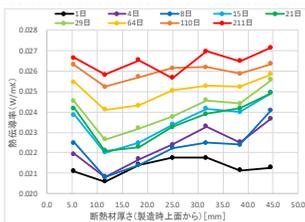


(b) 硬質ウレタンフォーム

60℃曝露

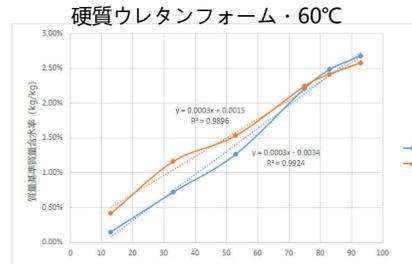
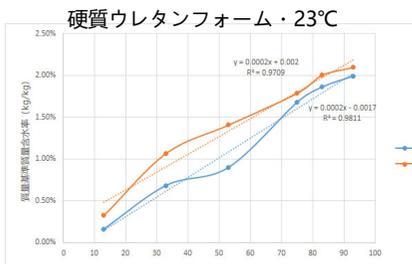
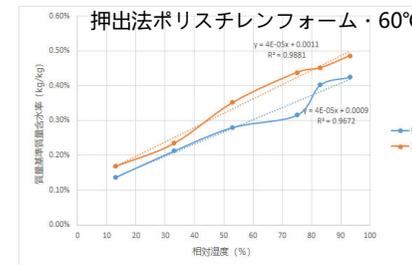
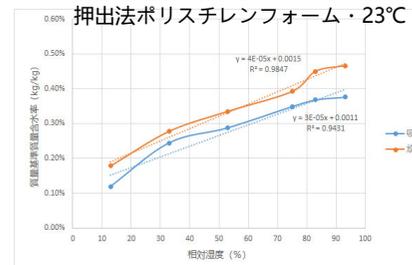


(a) 押出法ポリスチレンフォーム

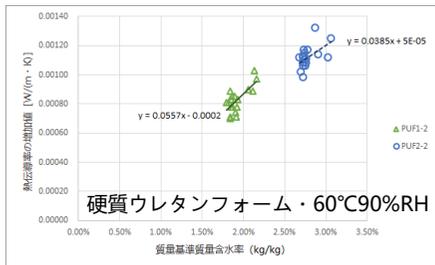
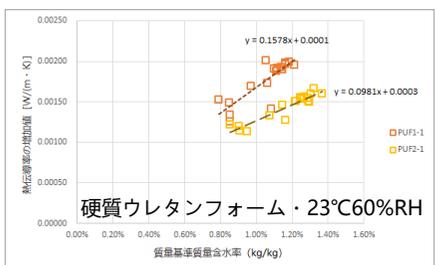
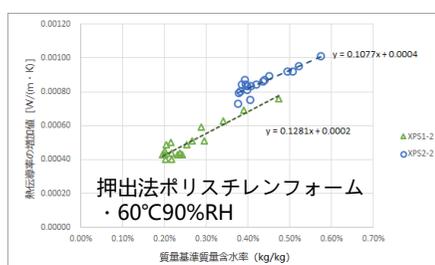
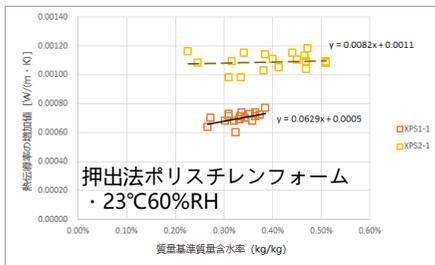


(b) 硬質ウレタンフォーム

相対湿度と平衡含水率の関係



熱伝導率の増加量と含水率の関係



まとめと今後の研究課題

<まとめ>

- 従来、あまり明確でなかった日射反射率の持続性については、経年変化の概略傾向を把握することができた。
- 日射反射率低下の直接的な原因である汚れの付着について、主要な汚れ成分の影響度も明らかになった。
- 遮熱・断熱の効果については、一般的な定常伝熱計算により、空調負荷、躯体への熱的負荷、防水層の耐用年数の評価が可能であることが確認できた。
- 断熱材の熱伝導率に対する発泡ガス放散および湿気浸入の影響について概略傾向は把握できた。

<今後の研究課題>

- 露出防水層表面の汚れ付着の予測
- 断熱材の実環境における吸水・吸湿現象の予測
- 吸水・吸湿抑制対策の検討