

海洋生物殻を混和した多層構造型空隙コンクリート材料の遮熱性能評価に関する基礎的検討

1. 材料施工-1 部位別材料・仕上げ・性能評価

準会員 ○ 小川剛司*1 正会員 田村雅紀*2

災害廃棄物、コンクリート材料、海洋生物殻、遮熱性能、色彩特性

1. はじめに

2011 年 3 月 11 日に M9.0 の巨大地震が発生し、壊滅的な被害をもたらした。発生した災害廃棄物は、阪神・淡路大震災の時の 1.7 倍の約 2,490 万トンに及んだ。よって早急な対応として、発生したがれきの処理方法や再利用方法などについて対策を考える必要がある。現状では、多くの廃棄物は焼却処理によって処理されているが、廃棄物の中に津波などの被害によって塩化物量が多いことや津波堆積物が混じっているため、焼却後の残渣（灰）率が 50～60%と高く、問題になっていることや、がれき等の震災廃棄物の再資源化には、廃棄物特有の問題がある。また、震災廃棄物のひとつである海洋生物殻は海水中の二酸化炭素を吸収しながら成長しているので、炭素固定性を有する材料といえ、地球温暖化問題の改善に効果的な材料として位置付けられ、また近年都市部のヒートアイランド現象が問題となっており、日本の道路の多くでは施工性に優れたアスファルト舗装が採用されているが、ほたて貝殻を混和したコンクリート舗装とすることで路面温度の低減効果が期待されている。本研究では上記を踏まえ、研究概念図を図 1 に示す。研究 1 では、震災での災害廃棄物の実態調査を行う。その後、研究 2・研究 3 で海洋性生物殻を用いたインターロッキングブロック（以下 IRB と略）の評価を実施し、汚れ度調査・赤外線反射の実験を行い、新たな付加価値向上を目指す。また研究 2・研究 3 での使用材料、実験要因と水準・実験項目と方法を表 1, 2, 3 に示す。

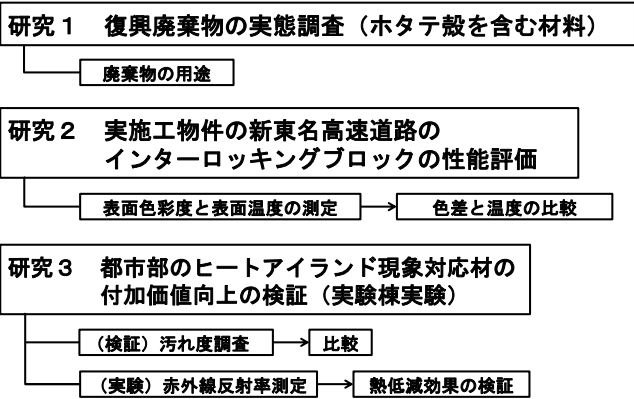


図 1 研究概念図

表 2 使用材料

記号		内容	
研究 2	A 海洋生物殻 (IRB)	Ab (青), Ap (桃), Abr (茶), Aw (白)	空隙構造, 玄武岩 (Sg),
	B あらい処理 (IRB)	Bg1 (灰色系), Bg2 (灰色系), Bg3 (灰色系), Br (赤系), By (黄系)	寒水 (Sk), 着色骨材 (Sc), (Sk, Sc: 密度 2.62g/cm ³)
	C みがき処理 (IRB)	Cw (白), Ck (黒), Cp (桃)	
	ABC 基盤 (IRB)	空隙構造, 密度 15 (%) 程度, 融解スラグ (Ss: 密度 2.84g/cm ³), 陸砂 (Sr: 密度 2.62g/cm ³), 7 号砕石 (G7: 密度 2.90g/cm ³), 酸化スラグ (Gs: 3.45g/cm ³)	
	Con	一般的なプレキャストコンクリート及び強度 18～21 (N/mm ²) 程度	
研究 3	AS	路面舗装用アスファルト (高密度型)	
	微粉末	ほたて, 漆喰, 寒水 (150 μm 以下)	
	パネル	ほたて+漆喰成形パネル (20×20cm 厚さ 5cm), 割合 10%ずつ混合, 10 種類, 密度 0.57～1.16 (g/cm ³)	
	温度測定用 IRB	種類 Aw: サイズ 30×30cm 厚さ 50mm	
	温度測定用 Con	W/C=60%, 2 種類 (S60 海洋生物殻砕砂, O60 砂岩砕砂),	

表 1 実験要因と水準 (研究 2・研究 3)

要因	水準
研究 2	汚れ度 L* 0～100 (L 値大: 汚れなし, L 値小: 汚れあり)
	赤外線吸収度 -60<a* <60 (a プラス→赤外反射→温度低) -60<b* <60 (b マイナス→赤外吸収→温度高)
	温度 表面温度 (°C)
	測定材料 コンクリート (Con), アスファルト (As), インターロッキングブロック (IRB)
	測定箇所 端部 (土隣接 10mm), 内部 (土隣接 100mm)
	時期・場所 夏・秋 (新東名高速道路 SAPA, 八王子)
研究 3	温度 内部温度 (°C), 表面温度 (°C)
	測定材料 IRB, Con (2 種類)
	測定箇所 表面 (0mm 深さ), 内部 (20mm 深さ) 各 4 箇所

表 3 実験項目と方法

実験項目	方法
研究 1 震災がれき調査	がれき処理コンソーシアム関連情報, 建設関連新聞記事, インターネットによる収集
研究 2 温度測定	非接触赤外線温度計 (高さ 30cm から測定)
研究 2 色彩度測定	色彩計を用い, JIS Z 8701 表面色 XYZ 三刺激値より L*a*b*表色系に変換し評価
研究 3 赤外線反射率	紫外域, 可視光域, 赤外域を 250nm～2500 nm まで紫外可視近赤外分光光度計 UV-3600 で測定。測定対象は微粉末試料, パネル試料
研究 3 温度	温度用コンクリート・インターロッキングブロック。熱電対式内部温度測定。表面温度, 深さ 20mm4 点測定

表 4 廃棄物を有効利用した製品の事例 (研究 1)

名称	材料	用途
海水練りコンクリート	大粒径コンクリートがれき	セメント硬化体
アップサイクルブロック	がれき残渣 (コンクリート片, 木材, 金属くず, 土石, 瓦など)	道路盛土
盛土基盤ブロック	がれき残渣, 混合廃棄物	盛土材料
ローラーで締め固めたセメント固化体	がれき	路盤材
CSG 工法で固めた盛土材	がれき	盛土材
ロータリーキルン	がれき焼却灰	セメント硬化体
ストーカ炉	がれき焼却灰	セメント硬化体

2. 研究概要

2.1 災害廃棄物の実態調査（研究 1）

循環型社会形成基本法や廃掃法などにおける法的な定義が関わっており、循環資源の定義は、「有用物であること」を位置付けられた時点で、廃棄物ではなくなる位置付けをすることができる。がれきについても、各種のコンクリートなどの原材料として、有用であることが適切な品質管理に基づく製造システムが完備され、その性能が保持できる場合には、その枠組の原材料として位置付けられると考えられる。その結果、アップリサイクル、レベルリサイクル、ダウンリサイクルなど、原材料となる前製品の要求性能水準との比較により、品質レベルに応じた区分で様々な製品をつくることができる状況となっている。性能や機能的な価値を高めて再資源化するリサイクルができるかが重視されている。現在行われている廃棄物を利用した製品事例を表 4 に示す。また、本研究で対象とするほたて貝殻の主な利用方法として、チョーク、融雪剤など、また建築分野でもほたて貝殻を混入したコンクリートの基礎的物性、耐久性、強度など研究されてきた。ホタテ貝殻の特徴として、生体内鉱質形成作用から層状に重なった構造であり、ホタテ貝殻を混入したモルタルは通常のモルタルに比べ圧縮強度は低下するが、曲げ・引張破壊において、塑性域での変形抵抗性に優れることが示されている。

2.2 都市部のヒートアイランド現象対応材の実測調査（研究 2）

研究 1 の可能性を有する各種材料（海洋生物殻、スラグ、カラー骨材など）を使用した IRB を対象とする。これらは建築外構材をはじめ、将来的には外壁タイルなどにも活用が可能である。そこで研究 2 では、コンクリートやアスファルトとも比較しながら、実務で適用されている現場における付設時の表面温度、色彩特性を評価する。

2.2 都市部のヒートアイランド現象対応材の実測調査（研究 2）

2.2.1 汚れ度試験の概要と使用材料

研究 1 の可能性を有する各種材料（海洋生物殻、スラグ、カラー骨材など）を使用した IRB を対象とする。これらは建築外構材をはじめ、将来的には外壁タイルなどにも活用が可能である。そこで研究 2 では、コンクリートやアスファルトとも比較しながら、実務で適用されている現場における付設時の表面温度、色彩特性を評価する。インターロッキングブロックの屋外暴露試験を実施した。試験体の IRB の調査を表 5, 6 に示す。汚れ度試験は、表面色彩度の比較により評価することとする。図 2 に 2012 年 7 月 17 日に測定した結果と 2012 年 10 月 12 日に測定した色差を温度との関係を示し、コンク

リート、アスファルトの表面温度と表面色彩度の分布を示す。IRB の特徴として、海洋生物殻を用いた IRB が他の IRB に比べて表面温度が低いことがわかった。期間 3 か月では、汚れ度変化に大きな低下はないが、目視において多少の汚れが確認された。表面色彩度測定には、色彩計を用いて JIS Z 8701 の L*a*b*表色系に基づき評価する。

2.2.2 多層構造による遮熱性能の評価

空隙構造で透水性を有することで、水分が材料内を移動可能となり、水分とあわせて気流が生じる状態であれば、乾燥作用により水の潜熱が材料表面の熱を奪うことから、温度低減効果がある可能性がある。この効果を保持する材料として位置付け、検証を実施する。表層に使用している海洋生物殻（ホタテ貝殻砂）には、貝殻の微細組織は層状の多孔質構造であり内部に熱をため込まないという特徴から、ヒートアイランドの抑制・地球温暖化対策に有効な材料である。よって、IRB と一般的に道路舗装に用いられるアスファルト・コンクリートの保水性・吸水性を比較する実験を実施した。実験方法として、水分を多く含んだ土・芝と IRB の端部 1cm の温度と IRB の際から 10cm 内部の表面温度を測定した。測定状況の概要図を図 3 に示す。また、図 4 に多層構造の遮熱性能による温度変化の試験結果を示す。

2.2.2.1 多層構造による遮熱性能の実験結果

コンクリートにおいては端部と内部での表面温度に変化がなく高い温度を示し、保水性・吸水性がないことがわかる。IRB では、端部での保水材からの潜熱移動による温度低下が見られた。内部温度についても潜熱の影響によりコンクリートよりも温度が低下しており、空隙構造による特性があることが示され、表面温度低減効果があり材料である。

表 5 調査表（A, B, C 処理）

種類	スランプ ^a (cm)	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m ³)					
				水	セメント		細骨材		
					普通	高引	Sk	Sc	Sg
表層	0	26.0	—	130	500	—	712	712	285

表 6 調査表（ABC 基盤）

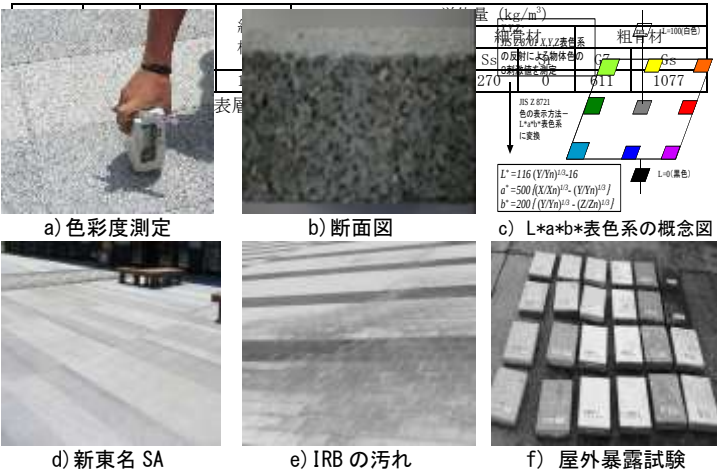


写真 1 インターロッキングブロックの屋外調査状況（新東名、八王子）

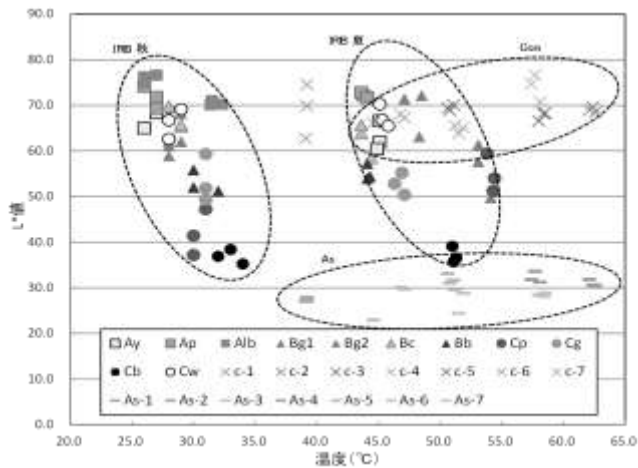
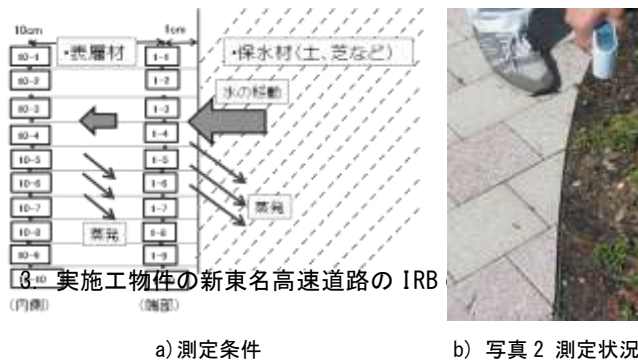


図2 IRB（夏・秋），Con，As の明度変化による評価



a) 測定条件 b) 写真2 測定状況

図3 空隙透水性能による温度測定の概要

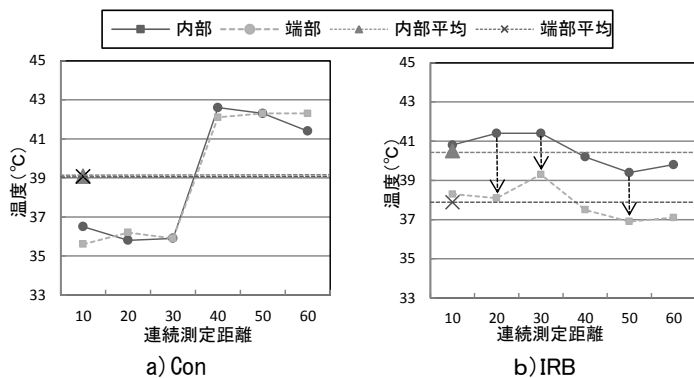


図4 多層構造による表面温度の違い

2.3. 実施工物件の新東名高速道路の IRB の性能評価(研究3)

2.3.1 IRB の空隙構造による温度変化

IRB に空隙構造により、保水・透水性能が発揮され、夜間の熱放射を抑え路面温度の上昇や蓄熱を低減する効果を証明するために実験を実施した。試験体は前項で示した IRB とホタテコンクリート、通常のコンクリートを用いる。なお、試験体の大きさは 15×15 とする。試験方法は、太陽光に近い白熱灯を試験体より 30 cm 高い地点から照射し、表面温度と内部温度を 4 点測定する。内部については、表面より深さ 2 cm 程の穴を開けその地点を測定していく。照射時間は 60 分とし、温度上昇が一定になった時に、全国的平均雨量である 3mm/分を流下し、温度上昇傾向を測定する。試験結果を図 5 に示す。



a) 赤外可視光照射実験



備考) K 熱電対、試験体寸法 20cm×20cm 厚さ 5cm、データロガー60分測定、2 回注水

b) 測定点

写真2 空隙透水性能実験

表7 電磁波反射スペクトルの測定概要

使用機器	紫外可視近赤外分光光度計 UV-3600 積分球付属装置 ISR-3100
測定波長範囲	250～2500nm
スリット幅	32nm
測定モード	反射率 (%)
対照	フッ素系樹脂系標準白色版

表8 電磁波反射スペクトル試験使用材料

記号	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No5
配分 (SH 割合=漆喰:ほたて)	S10H0	S9H1	S8H2	S7H3	S6H4
密度 (g/cm ³)	0.837	1.161	0.854	0.962	0.987
記号	No. 6	No. 7	No. 8	No. 9	No. 10
配分 (SH 割合=漆喰:ほたて)	S5H5	S4H6	S3H7	S2H8	S1H9
密度 (g/cm ³)	0.709	0.887	1.017	0.845	0.577

2.3.2 漆喰・ホタテ遮熱外装パネルの赤外線反射率の測定

建材は、太陽光から地上に降り注ぐ電磁波を浴びており、その受ける電磁波のうち地上に届くものとして紫外線・可視光・赤外線などがある。紫外域は 250nm～360nm を示し、可視光として 380nm～780nm、近赤外域は 750nm～2500nm までである。これらを区分して、その反射光を評価することで、建材に吸収及び透過する特性を評価できる。なお、 $L^*a^*b^*$ のうち、 L^* の測定値が大きい場合、 a^* が正の値であるとき赤色を反射するので、可視光の領域のうち 760nm 前後から近赤外の光を反射する。電磁波を反射し、蓄熱しにくい材料になる。 b^* 値について、 b^* が負の値に近づくほど、材料は青色を反射するので、可視光のうち 380nm 前後から紫外域の光を反射する。熱に大きく影響しない電磁波を反射し、紫外域を反射せず蓄熱しやすい可能性がある。上記を踏まえ、拡散反射スペクトル測定を実施した。表 7 に概要を示す。使用機器は、紫外可視赤外分光光度計を用い、材料別近赤外線反射率測定と遮熱型外装パネルの近赤外線反射率の測定を行う。また、表 8 に使用材料を示す。試験体は、漆喰 (S)・ほたて (H)・水を練り混ぜ製作し、配分は漆喰・ほたての含有率を示している。実験結果を図 6.7 に示す。

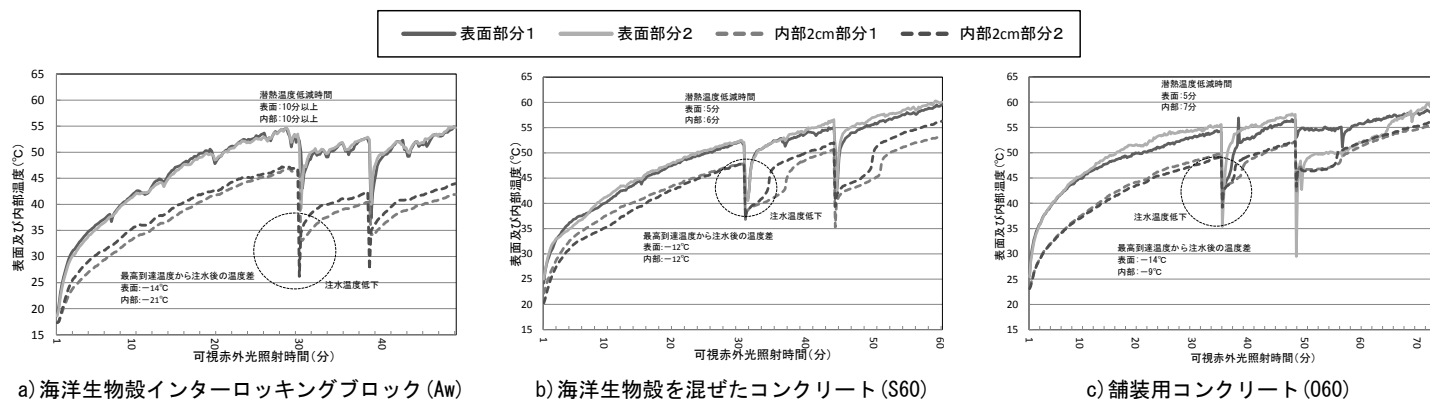


図5 注水を含めた可視赤外光照射試験による温度上昇

3. まとめ

- (1) アップサイクル、レベルサイクル、ダウンサイクルを再資源化レベルとして、原材料となる前製品の要求性能水準との比較により、品質レベルに応じた区分で様々な製品を製造できる状況であることがわかった。海洋生物殻もいずれかの再資源化サイクルにより利用が可能であり、性能や機能的な部分に付加価値向上を目指し製品開発を行うことがリサイクル材料として重要である。
- (2) 汚れによるインターロッキングブロックの性能低下は考えられるが、今回の実験では明確な結果は得られなかった。今後は様々な障害が起こる環境での汚れを想定する必要がある。しかし、海洋生物殻を用いた IRB は様々な色彩を設けることで、熱吸収が少なくコンクリート材料のような表面温度の上昇はなく、路面温度の上昇・蓄熱を低減する結果を実証できた。空隙構造による内部に透水・保水性能を保持する結果も示し、熱放出が少なく遮熱低熱機能がある。
- (3) 電磁波反射率について、材料別に近赤外の反射率が異なり、ホタテ粉末には比較的吸収ピークは少ないことが確認でき、海洋生物殻の空隙透水性能がある多層構造とすることで、一定の遮熱効果が期待できることがわかった。遮熱外装パネルにおいても、ほたて貝砕砂量が多い試験体のほうが赤外域での反射率が高くなっており、熱吸収が少なく、路面温度の上昇や蓄熱を低減する効果があることを示した。

謝辞

本研究において、株式会社イワタ古川真弘氏、北海道優雅高柳雅保氏、島津製作所齊藤洋臣氏、コニカミノルタオプティクス株式会社から貴重な助力を得た。また工学院大学 UDM・PJ 研究、平成 23 年度科研費若手 (A23680681 田村雅紀) による援助を受け、深謝の意を表する。

参考文献

- 1) 篠崎真澄、半井健一郎：再生骨材を用いたポーラスコンクリートの蒸発冷却効果、コンクリート工学年次集, Vol. 34, No. 1, 2012
- 2) 小室清人：生体構造特性を有する海洋生物殻を用いたコンクリートの動的劣化特性と炭素固定性の評価、工学院大学工学研究科建築学専攻修士論文梗概集, 2011
- 3) 震災がれき処理コンソーシアム関連情報

- *1 工学院大学工学部建築学科建築学コース専攻・学部 4 年
*2 工学院大学工学部建築学科准教授・博士 (工学)

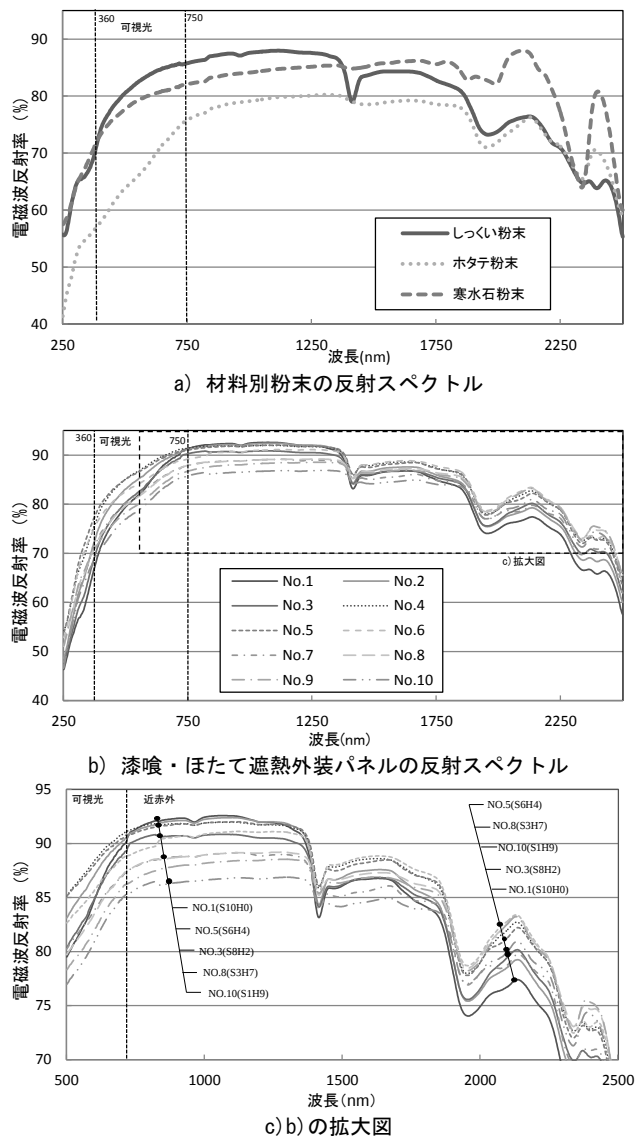


図6 電磁波反射スペクトル

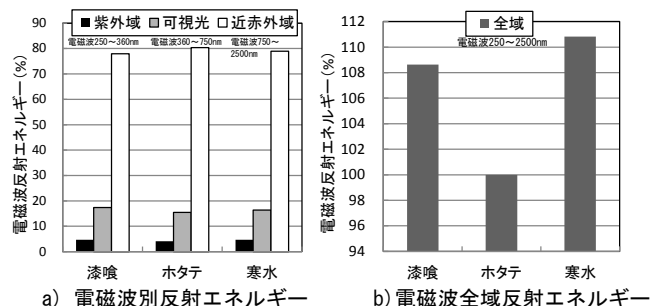


図7 反射スペクトルエネルギーの比較