

# 論文 火山礫コンクリートを用いた緑化屋根の室温調整機能

加賀谷 誠<sup>\*1</sup>・飯村 弥<sup>\*2</sup>

**要旨:** 緑化した火山礫コンクリート板をブロック構造の一坪ハウス屋根上に設置した場合、これを設置しない場合と比較して室温は夏期に低く、冬期に高くなり、断熱保温効果が確認された。このことからこのコンクリートの使用により冷暖房負荷を軽減し、省エネルギー効果を期待できることが明らかとなった。

**キーワード:** 吸水率, 単位容積質量, 熱伝導率, 緑化, 断熱保温効果

## 1. はじめに

21世紀において持続可能発展をとげる社会基盤を構築するためには、自然親和性を有する建設材料の開発が必要不可欠であり、緑化コンクリートは植物によるCO<sub>2</sub>の吸収と蒸散作用などによりヒートアイランド現象を緩和するなどの面で有用である。

火山礫を用いたコンクリートの自然親和性に関する実験的検討を行い、洗い出し仕上げを行った火山礫コンクリートに植栽の可能性があることが指摘された<sup>1)</sup>。本研究は、その結果に基づき、火山礫コンクリート板上に植栽を施し、建築物の屋根上にこれを設置することにより、植物による上記自然環境維持作用を発揮させること、また、空調等電気・熱エネルギー節減のための室内温度調節を図ることの可能性を評価することを目的に実施した。

## 2. 実験概要

秋田県北部地方には豊富な埋蔵量の火山礫が分布しており、これを用いることとした。まず、火山礫の物理的性質を求め産地の異なるものと比較をした。次に、火山礫を用いたコンクリートを製造し、単位容積質量、強度および熱伝導率を普通コンクリートと比較した。そして、芝草類で緑化した火山礫コンクリート板を製造

し、ブロック構造の一坪ハウスを建造してその屋根上に設置し、屋内に設置した温度記録計による温度の経時変化を平成11年7月より12月に計測し、緑化しない場合と比較し、室温調整機能について検討した。

### 2.1 使用材料および配合

普通ポルトランドセメント、川砂(表乾密度2.56, 吸水率3.29%, 粗粒率2.70)、川砂利(表乾密度2.55, 吸水率3.34%, 最大寸法20mm, 粗粒率6.60)、天然樹脂酸塩を主成分とするAE剤および変性リグニンとオキシカルボン酸化合物の複合体を主成分とする超遅延剤を使用した。

3.1で示す火山礫を川砂利と同じ粒度に調整し、最大寸法20mmの粗骨材として使用した。

無筋コンクリート版であることと耐凍害性を考慮して製造したコンクリートの目標スランプおよび空気量をそれぞれ8.0±1cm, 6.0±1%とし、水セメント比を45%とした。スランプおよび空気量の実測値は目標範囲内にあった。**表-1**にコンクリートの示方配合を示す。なお、火山礫は24時間吸水させ表乾状態として使用した。

### 2.2 火山礫の物理試験方法

JIS A 1135構造用軽量粗骨材の比重および吸水率試験方法に準じて3.1に示す産地の異なる4種類の火山礫の絶乾密度および24時間吸水率

\*1 秋田大学教授 工学資源学部土木環境工学科 工博 (正会員)

\*2 (有)飯村造園技術代表

表-1 コンクリートの示方配合

粗骨材 最大寸法 (mm)	スランプ (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )				AE	備考
					W	C	S	G		
20	8.0	6.0	45	36.0	165	367	616	531	0.22	Gのみ 火山礫
				41.4	165	367	480	579	0.15	GおよびS 火山礫

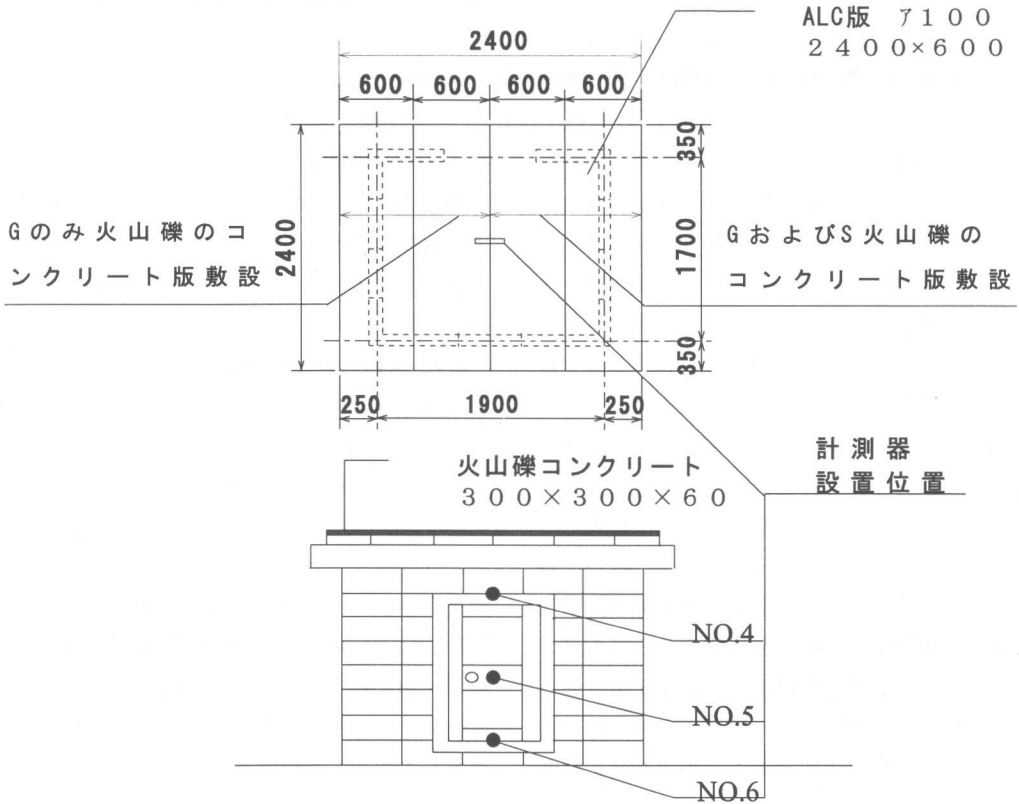


図-1 ブロック構造の一坪ハウス

を求めた。また、火山礫の吸水特性を調べるため、絶乾状態の火山礫を水中に浸漬し、各吸水時間(24時間以内)での吸水率を求めた。次に、JIS A 1104骨材の単位容積質量試験方法に準じて単位容積質量および実積率を求めた。

### 2.3 コンクリートの力学的性質および物理的性質の試験方法

コンクリートの圧縮強度および曲げ強度を試験するため、JIS A 1108および1106に準じて円柱(φ10×20cm)および角柱(10×10×40cm)供試

体を製造した。寸法および質量を測定してコンクリートの単位容積質量を求めた。試験材齢は28日であってそれまで標準水中養生を行った。

コンクリートの熱伝導率を迅速熱伝導率測定機(QTM)を用いたProbe法により測定した。供試体含水状態を24時間吸水後室温20±3℃の室内に7日間放置し、気乾状態として材齢91日で熱伝導率の測定を行った。

表-2 火山礫の物理的性質

	秋田産	群馬産	北海道産	八丈島産
表乾密度(24hr)	1.24	1.30	1.22	1.67
絶乾密度	0.73	0.87	0.95	1.38
24時間吸水率(%)	70.45	48.41	28.89	20.91
単位容積質量*(kg/m <sup>3</sup> )	437	530	587	599
実積率*(%)	60.00	60.51	62.02	43.37

\*絶乾状態

## 2.4 火山礫コンクリート板の製造と緑化方法

粗骨材として火山礫を用いた。なお、一部において火山礫を粉砕した細骨材も使用した。コンクリート板の寸法は300×300×60mmであって、コンクリートの練混ぜ後型枠に打込んだ。打込み後、超遅延剤20%水溶液を噴霧し、24時間後洗い出し仕上げを行って火山礫粒子をコンクリート表面に露出させた。7日間気中養生を行い、バークたい肥、ピートモス、化学肥料を混合した人工土壌にオチャードグラス、トールフェスク、クリーピングフェスク、めどはぎ、よもぎの種子を混合攪拌して前栽培し、生育高さ10cm(2ヶ月経過後)となったものをコンクリート板上に客土層ごとに設置した。客土層厚は3~5cmであった。平成11年7月19日、秋田県下浜地区に建造した一坪ハウス屋根上に緑化したコンクリート板を敷設した。なお、生育補助のため8月末までの1.5ヶ月間、1週間に2回散水を行った。

図-1にブロック構造の一坪ハウスを示す。壁部分は厚さ100mmのブロック構造とし、屋根には、ALC版2400×600mm、厚さ100mmを用いた。また、床部分は厚さ60mmの土間コンクリートとし、入口にアルミ製のドアを1個取り付けた。屋内面積は3.2m<sup>2</sup>であって床から天井までの高さは1.6mとした。この一坪ハウスを2棟建造し、

一戸を屋根に緑化した火山礫コンクリート板を設置したもの、他方をこれを設置しないものとして屋内温度を比較測定した。緑化した火山礫コンクリート板を設置した場合、このコンクリート板とALC板の間に防水のため厚さ2.0mmの塩化ビニール防水シートを設置した。なお、設置したコンクリート板の種類は2種類であって、半分は粗骨材のみ火山礫を使用したもの(吸水時単位容積質量1756kg/m<sup>3</sup>)、残り半分は細・粗骨材とも火山礫を使用したもの(吸水時単位容積質量1537kg/m<sup>3</sup>)を用いた。

## 3. 実験結果および考察

### 3.1 火山礫の物理的性質

表-2に本研究で用いた秋田産ならびに比較のため産地の異なる火山礫の物理的性質を示す。本研究で使用した火山礫は他と比較して絶乾密度が小さく、24時間吸水率が大きいこと単位容積質量が小さく、実積率は良好であることがわかる。

軽量骨材の吸水率、吸水速度は骨材の種類によって著しく異なり、吸水は長時間継続することが知られている<sup>2)</sup>。植物の生育にはこの吸水特性が大きく影響を及ぼすため<sup>1)</sup>図-2に吸水時間と吸水率の関係を示す。図より、本研究で使用した火山礫の場合、浸水後最初の10分間で24時間吸水率の約80%の吸水率に達し、その後徐

表-3 火山礫(秋田産)の化学成分

SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	CaO (%)	MgO (%)	K <sub>2</sub> O (%)	Na <sub>2</sub> O (%)	強熱減量 (%)
61.6	15.2	4.13	4.22	1.30	0.84	3.85	2.2

表-4 硬化した火山礫(秋田産)コンクリートの性質

	普通コンクリート	火山礫コンクリート1*	火山礫コンクリート2**
単位容積質量(kg/m <sup>3</sup> )	2321	1756	1537
圧縮強度(N/mm <sup>2</sup> )	36.1	10.3	7.7
曲げ強度(N/mm <sup>2</sup> )	4.1	2.3	1.9
熱伝導率(kcal/m・s・K)	3.44×10 <sup>-4</sup>	2.03×10 <sup>-4</sup>	1.14×10 <sup>-4</sup>

\* 粗骨材のみ火山礫を使用。\*\* 粗骨材に火山礫、細骨材に火山礫を粉砕したものを使用。

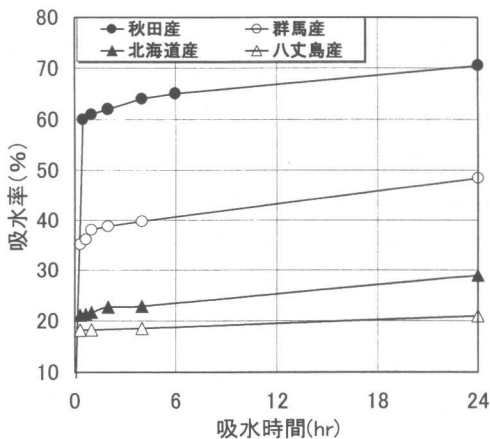


図-2 吸水時間と吸水率の関係

々に増加することがわかる。このような吸水特性は産地の異なるものにも認められるが、初期における時間あたりの吸水率の増加程度すなわち吸水速度の大きいことに本研究で用いた火山礫の特長が示されている。表-3に本研究で使用した火山礫の化学分析結果を示した。

### 3.2 硬化した火山礫コンクリートの性質

表-4に硬化した火山礫コンクリートの性質を示す。単位容積質量は、材齢28日まで水中養生を行い圧縮強度試験直前に測定した結果であるが、火山礫コンクリート1および2(粗骨材の

み火山礫を使用および粗骨材に火山礫、細骨材に火山礫を粉砕したものを使用)では普通コンクリートの75.7および66.2%となった。圧縮強度は、火山礫コンクリート1および2では普通コンクリートの28.5および21.3%、曲げ強度は、56.0および46.3%となった。これは、火山礫粒子自体の強度が小さいことによるが、屋根上に敷設する目的に対しては適用可能と判断された。熱伝導率は、気乾状態で測定した結果であるが、火山礫コンクリート1および2では普通コンクリートの59.0および33.3%となった。これは、熱を伝えにくい多数の気泡を有する火山礫を用いたことによると考えられる<sup>3)</sup>が、この特性を利用して保温性や断熱性を有する建材としての用途が十分考えられる。

### 3.3 室温測定結果

図-3に夏期測定期間中の7月における室内最高温度を記録した日の室温の経時変化を示す。図中No.3は火山礫コンクリート板を設置しない場合、No.6は緑化した火山礫コンクリート板を設置した場合の一坪ハウス内床上30cm(床近傍)での室温測定結果を示す。記録した日(7/27)の最高気温を記録した時間における緑化した火山礫コンクリートを設置した場合とこれを

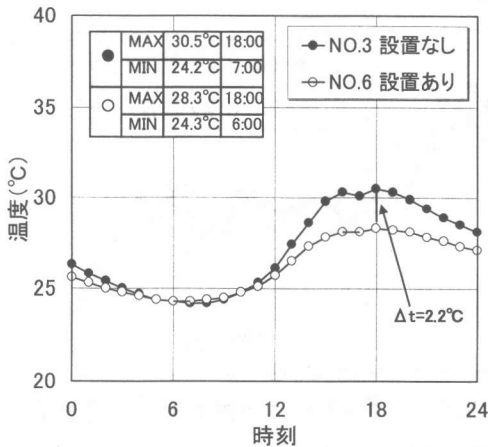


図-3 7月の室内最高温度を記録した日の室温の経時変化

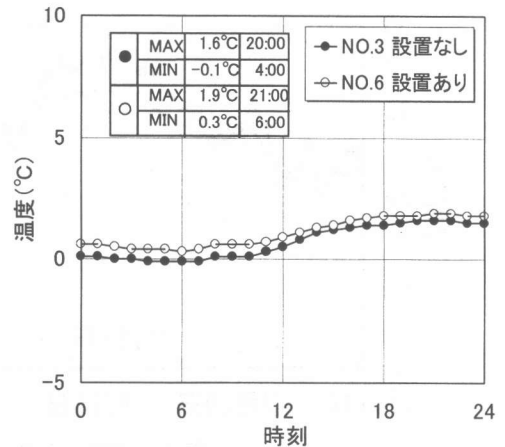


図-4 12月の室内最低温度を記録した日の室温の経時変化

設置しない場合の温度差  $\Delta t$  は  $2.2^{\circ}\text{C}$  であって、設置した方が低くなっている。また、日射の強まる午後においてこの傾向が明確に示されており、緑化した火山礫コンクリートを設置した場合、一日の室内温度変動が、これを設置しない場合より少ないこともわかる。

図-4に冬期測定期間中の12月における室内最低温度を記録した日の室温の経時変化を示す。期間中火山礫コンクリートの植物は枯れていた。図中記号および測定位置は前図と同じである。記録した日(12/22)の各時間における火山礫コンクリートを設置した場合とこれを設置しない場合の温度差  $\Delta t$  は  $0.3\sim 0.4^{\circ}\text{C}$  であって設置した方が高くなっている。また、0~12時において設置しない場合氷点下になったが設置することによってこれを避けることができ、保温効果が確認された。なお、火山礫コンクリートの熱伝導率は、普通コンクリートのそれより40%程度小さく保温性に優れていることを示したがこれに起因すると考えられる。

図-5に一例として夏期測定期間における最高室内温度の日変化を示す。図中No. 2および5は、火山礫コンクリート板を設置しない場合、および緑化したこれを設置した場合の一坪ハウス内床土80cm(室内中間部)での室温測定結果を示す。図より緑化した火山礫コンクリートを屋

根に設置した場合7月下旬から8月中旬にかけて室内温度が高い程これを設置しない場合より温度が低くなる傾向を示すことがわかる。この測定期間内で  $30^{\circ}\text{C}$  以上となった日数を調べると、緑化した火山礫コンクリートを設置した場合9日、これを設置しない場合18日となり、緑化した火山礫コンクリートを設置した場合の断熱性が確認された。

これらの室温計測結果から緑化した火山礫コンクリートを屋根に設置した場合、夏期における断熱性と冬期における保温性が存在すること、このことが室内における冷暖房負荷を軽減し、省エネルギー効果を期待できることが確認された。

### 3.4 植物の生育状況の観察

7月19日に屋根上に火山礫コンクリート板を設置したときの芝草類の生育高さは10~15cmであったが、夏期測定終了時に近い9月18日に測定を行った結果22~31cmであった。屋根面積の半分は、粗骨材のみ火山礫を使用したコンクリート、残り半分は細骨材も火山礫を粉砕したものをを使用したコンクリートとしたが、目視観察の結果では後者に緑化した方が生育状況は良好であった。細・粗骨材とも火山礫を用いた場合、洗い出しによって表面に露出する吸水量の大きい火山礫粒子が増加するため保水性が向上して

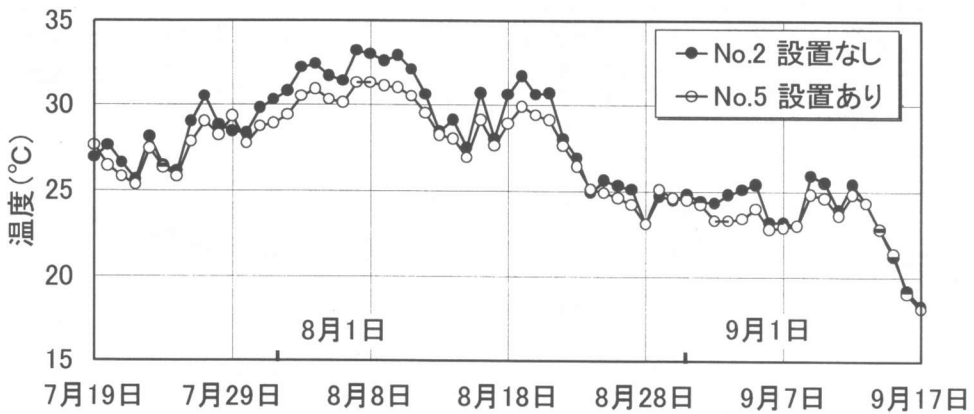


図-5 夏期における最高室内温度の日変化

植物の生育に良好な影響を与えたと推察される。地被緑化のための限界の土壌の厚さは10cmとされているが、火山礫コンクリート板上の客土層厚は3~5cmであって土壌の軽量化および薄層化が可能であること、また、火山礫コンクリートの単位容積質量は、普通コンクリートのその66~76%と軽量で運搬取り扱いが容易であること、さらに植物を前栽培して、土壌ごとはりつけるため、たとえ枯死した場合であっても取り替えが可能であることなどの特長が上げられる。

#### 4. まとめ

- (1) 本研究で使用した火山礫は、産地の異なるものと比較して絶乾比重が0.73と小さく、24時間吸水率が70.45%と大きく、浸水後最初の10分間で24時間吸水率の約80%に達した。
- (2) 火山礫コンクリート1および2(粗骨材のみ火山礫を使用および粗骨材に火山礫、細骨材に火山礫を粉碎したものを使用)では、単位容積質量は普通コンクリートの75.7および66.2%、圧縮強度は28.5および21.3%、曲げ強度は56.0および46.3%、熱伝導率は59.0および33.3%となった。
- (3) 緑化した火山礫コンクリート板を屋根に設置した場合、夏期において日射の強くなる昼間部において設置しない場合より室温が低く、

最高で2.2°C低くなった。この傾向は、室温が高くなるほど顕著であり、一日の室内温度変動が少なくなった。

- (4) 夏期計測期間中に室温が30°C以上となった日数は、緑化した火山礫コンクリート板を設置した場合9日、これを設置しない場合18日であって、夏期の断熱性が確認された。
- (5) 冬期計測期間中において火山礫コンクリート板を設置した方が室内温度が高く、保温効果が確認され、冷暖房負荷を軽減し、省エネルギー効果を期待できることが確認された。
- (6) 夏期3ヶ月間における火山礫コンクリート板上に設置した芝草類の生育高さの増加量は、約15cmであって、生育状況は細・粗骨材とも火山礫を用いた方が良好であった。

#### 参考文献

- 1) 加賀谷誠, 濱田昌宏, 城門義嗣, 飯村弥: 火山礫を用いたコンクリートの自然親和性に関する実験的検討, セメント・コンクリート論文集, No.52, pp.486-491, 1998.
- 2) 國分正胤: 土木材料実験, 技報堂, pp.36-44, 1996.
- 3) 加賀谷誠, 徳田 弘, 飯村 弥: 火山礫を用いたコンクリートの基礎的性質, 材料, Vol.45, No.9, pp.1008-1013, 1996.