

# 火山礫の骨材特性とこれを用いた ポーラスコンクリートの気温低減効果

加賀谷

誠<sup>※1)</sup>城 門 義 嗣<sup>※2)</sup>飯 村 弥<sup>※3)</sup>

## 1. はじめに

火山礫は、軽量であることを利点として、コンクリートブロックや鉄筋コンクリート部材に戦後用いられるようになった地域の産物である。これが有する高吸水率に関しては、造園緑化のための保水材料、あるいは排水助材として地中に直接埋設して活用されることが多い。

近年、大都市のみならず地方の中小都市においても、局地的に気温が上昇するヒートアイランド現象が発生し、生活環境の悪化が懸念されている。この現象が発生する原因の一つとして、日射を吸収したコンクリート面からの輻射熱で日中、高温の状態が持続することが指摘されており、吸放水性の高い建設材料の使用による気温の低減が、このような現象への対策となり得ると提言されている。

著者らは、火山礫の高吸放水性に着目し、これを用いたポーラスコンクリート（火山礫POC）の気温低減効果に関する研究をこれまで行って来た。本論では、火山礫の定義、基礎物性、軽量骨材としての規格および用途の概要を示すとともに、著者らの研究結果を紹介したい。

## 2. 火山礫の定義と性質

火山が噴火する時、火口から噴出されるガスを除く物質のことを火山砕屑物といい、これを3つに分類した中の1つに降下火砕堆積物がある。これは、火口より高温熔融状のマグマが急激に圧力の低い大気中に噴出され、落下堆積したものである。噴出の際マグマ中に含まれていたガス分が気化して発泡するため多孔質であり、軽石（pumiceと呼ばれ $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ に富み白色）や岩滓（scoriaと呼ばれ $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{MgO}$ に富み黒褐色）がこれに含まれる。火山礫（lapilli）は、径が2～64mmのもので、

上記二者を含んでおり、天然軽量骨材として採掘されている<sup>1)</sup>。

火山礫の主要化学成分は、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ および $\text{Fe}_2\text{O}_3$ であるが、産地によって成分割合は異なる。 $\text{SiO}_2$ が多くなるにしたがって真密度は小さくなる。見掛け密度は化学成分と空隙の量によって変化し、真密度が小さく空隙の多いものほど小さくなる。絶乾から24時間吸水したときの吸水率は、見掛け密度と逆比例の関係となる。参考までに表1に、産地毎の火山礫の真密度、見掛け密度、空隙率および吸水率を示す<sup>2)</sup>。

## 3. 火山礫を天然軽量骨材として用いるための規格と用途

軽量骨材は、コンクリートの質量の軽減または断熱などの目的で用いる、普通の岩石よりも密度の小さい骨材と定義されている<sup>3)</sup>。また、JISA5002-1999「構造用軽量コンクリート」では、構造上主要な箇所に用いられるコンクリートに使用する軽量骨材について天然軽量骨材が規定されており、火山礫およびその加工品となっている。密度および実積率による区分は、表2および3に示すとおりであり、火山礫を軽量骨材としてコンクリートに使用する上での目安となっている。

火山礫は、1946年頃から約10年の間に浅間、榛名、天城山、十和田、真鶴産のものが、軽量コンクリート・軽量ブロック用に用いられ始め<sup>4)</sup>、その後、他の産地のものも用いられるようになって、各種コンクリート二次製品に用いられるようになった。1951年頃に鉄筋コンクリート構造物に粗骨材として榛名や浅間の火山礫が用いられて良い結果が得られてからは、大島の火山礫などが大量に使用されるようになった<sup>5)</sup>。一方、1990年代から2000年にかけて、火山礫を用いたコンクリートやポーラ

\*1) 秋田大学工学資源学部 教授 工博

\*2) 秋田大学工学資源学部 助手 博士(工学)

\*3) 有限会社 飯村造園技術

(74)

スコンクリートを水路や法面、屋上緑化に用いて、自然維持機能を発揮させる研究<sup>6) 7)</sup>や、水質浄化や騒音低

減のために用いる研究<sup>8) 9)</sup>が行われ、実際に用いられるようになってきた。これは、構造部材としてよりも火

表1 産地毎の火山礫の真密度、見掛け密度、空隙率および吸水率

骨材種類	真密度 (g/cm <sup>3</sup> )	粒径 (mm)	見掛け密度 (g/cm <sup>3</sup> )	空隙率 (%)	吸水率*	
					%wt	%vol
十和田 (秋田)	2.34	20~10	0.68	71.6	—	—
		10~5	0.72	69.2	—	—
		5~2.5	0.75	68.0	—	—
		20~2.5	0.72	69.2	69.0	49.7
浅間 (長野)	2.60	20~10	0.89	65.8	38.2	34.0
		10~5	0.99	61.9	30.5	30.2
		5~2.5	1.15	55.7	26.6	30.6
		20~2.5	0.99	61.9	32.7	32.4
榛名 (群馬)	2.58	20~10	0.99	61.6	41.2	40.8
		10~5	1.05	59.3	36.7	38.5
		5~2.5	1.17	54.6	28.8	33.6
		20~2.5	1.04	59.6	37.6	39.4
大島 (東京)	2.87	20~10	1.63	43.2	14.3	23.3
		10~5	1.67	41.8	14.8	24.7
		5~2.5	1.86	35.2	10.2	19.0
		20~2.5	1.68	41.5	14.2	23.9
富士 (静岡)	2.86	20~10	1.91	33.2	—	—
		10~5	1.83	36.0	—	—
		5~2.5	1.82	36.4	—	—
		20~2.5	1.85	35.3	20.0	37.0
真鶴 (神奈川)	2.33	20~10	0.69	70.4	71.3	49.2
		10~5	0.75	67.8	68.4	51.2
		5~2.5	0.86	63.1	61.5	52.9
		20~2.5	0.72	69.1	69.8	50.0
桜島 (鹿児島)	2.50	20~10	0.70	72.0	74.2	51.9
		10~5	0.86	65.6	62.6	53.8
		5~2.5	0.98	60.8	55.1	54.0
		20~2.5	0.80	67.8	65.8	53.0

表2 軽量骨材の絶乾密度による区分

区分	絶乾密度 (kg/l)			
	細骨材		粗骨材	
L	1.3未満		1.0未満	
M	1.3以上	1.8未満	1.0以上	1.5未満
H	1.8以上	2.3未満	1.5以上	2.0未満

表3 軽量骨材の実績率による区分

区分	モルタル中の細骨材の実績率 (%)		粗骨材の実績率 (%)	
A	50.0以上		60.0以上	
B	45.0以上	50.0未満	50.0以上	60.0未満

山礫の多孔質、高吸水性を活用して、環境負荷低減材料として用いることを目的としており、環境保全という地球規模の潮流に向かった重要で新しい試みと言える。

#### 4. 秋田(十和田)産火山礫の特徴

秋田県と青森県の県境に位置する十和田湖周辺には、面積900km<sup>2</sup>、平均層厚50m、体積450億m<sup>3</sup>程度と推定され、我が国でも有数とされる火山礫が埋蔵されている。この火山礫は粒子寸法5~25mmのものが多く、破碎を行わなくても分級してコンクリート用軽量骨材として使用可能であるという特徴を有している。表4に研究に使用した秋田(十和田)産火山礫の化学成分を示す。SiO<sub>2</sub>+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>が全成分のおよそ80%を占めており、前節に示したように、軽石(pumice)に分類され、低密度、多孔

質、高吸水の特徴を有すると推定される。表5に、秋田(十和田)産火山礫の物質的性質を示す。JISにある構造用軽量コンクリート骨材に準じて密度および実積率による区分を行うと、LおよびAに分類され、軽量かつ形状の良好な天然軽量骨材に区分される。

他種の火山礫との比較を行うため、図1に、吸水時間と吸水率の関係を示す。秋田産火山礫は吸水開始後の10分間で24時間吸水率の約80%に達し、その後、徐々に増加することがわかる。このような吸水特性は他県産の火山礫にも認められるが、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が秋田産火山礫の特徴として挙げることができる。なお、この火山礫の24時間吸水率は、国内で使用されている人工軽量骨材のその9.3倍であった。

表4 秋田(十和田)産火山礫の化学成分

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 (%)	lg. loss (%)
61.60	15.20	4.13	4.22	1.30	0.84	3.85	2.20

表5 秋田(十和田)産火山礫の物理的性質

表乾密度 (g/cm <sup>3</sup> )	絶乾密度 (g/cm <sup>3</sup> )	24時間吸水率 (%)	単位容積質量： 絶乾状態(kg/m <sup>3</sup> )	実積率 (%)
1.18	0.69	68.97	422	60.4

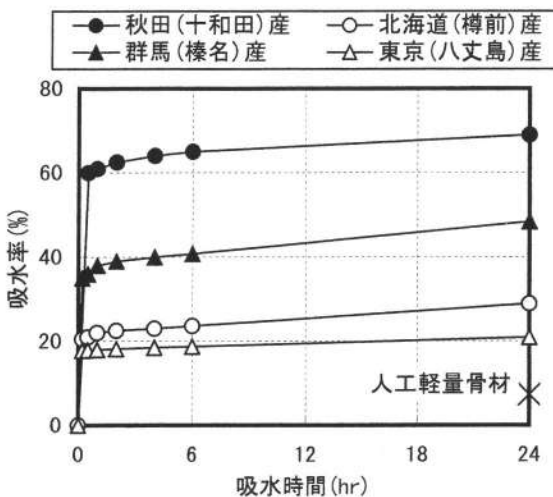


図1 吸水時間と吸水率の関係

図2および図3に、秋田産火山礫粒子の外観および粒子断面の電子顕微鏡写真を示す。粒子は、絶乾状態において白黄色を呈している。

#### 5. 火山礫POCの基礎的性質

前節において秋田産火山礫が軽量かつ高吸水性の特徴を有することを示したが、これをポーラスコンクリートに用いた場合、その吸、放水性を發揮できるか否か次の検討を行った結果を以下に示す。

図4に、火山礫および火山礫POCの吸水量および放水量の経時変化を示す。用いた配合は、W/C=25%、空率率30%、ペースト火山礫容積比0.07とした最適配合<sup>10)</sup>である。火山礫POCの試験には直径100mm、高さ200mmの円柱供試体を使用した。吸水および放水量の測定に際し、火山礫および火山礫POCを110℃で48時間炉乾燥した後に試験を行った。吸水量の測定では、試料を20℃静水中

で48時間吸水させながら質量の測定を行った。放水量の測定では、48時間吸水後表乾状態とした試料を用いて48時間、温度20℃、相対湿度60%の環境条件で質量の測定を継続的に行った。なお、火山礫の試験には示方配合から円柱供試体（直径100mm、高さ200mm）の1本あたりに使用する粗骨材量を求め、48時間吸水後表乾状態とした試料を用いた。比較のため円柱供試体と同じ寸法に作製

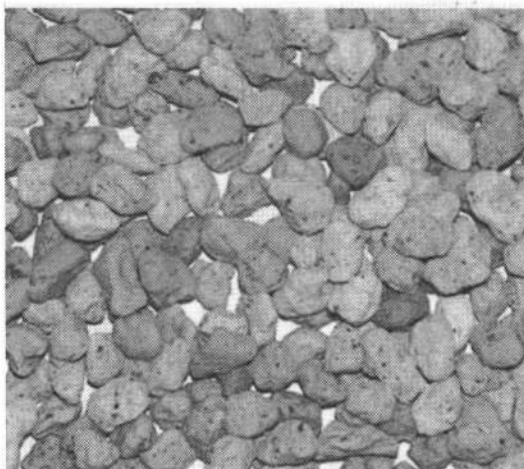


図2 秋田（十和田）産火山礫粒子の外観

した円筒形金網かご内（直径100mm、高さ200mm）に、火山礫を突き固めながら3層に分けて詰め、試験を行った。

図より、火山礫および火山礫POCの吸水量ならびに放水量の増加傾向は類似しており、24時間経過時点では火山礫と火山礫POCの吸水量が447gと410g、放水量が325gと299gであり、火山礫POCの方が火山礫より37gおよび26g少なかった。また、48時間経過時点で火山礫POCの吸水量は427g、放水量は406gであり、吸水した水を95%放水しており、普通コンクリートの吸水および放水量の約2倍および4倍となった。したがっ

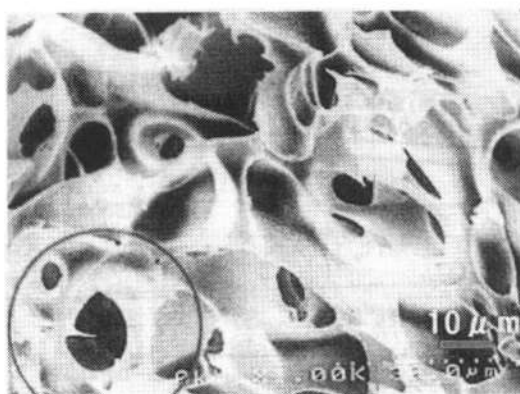


図3 火山礫粒子断面の電子顕微鏡写真

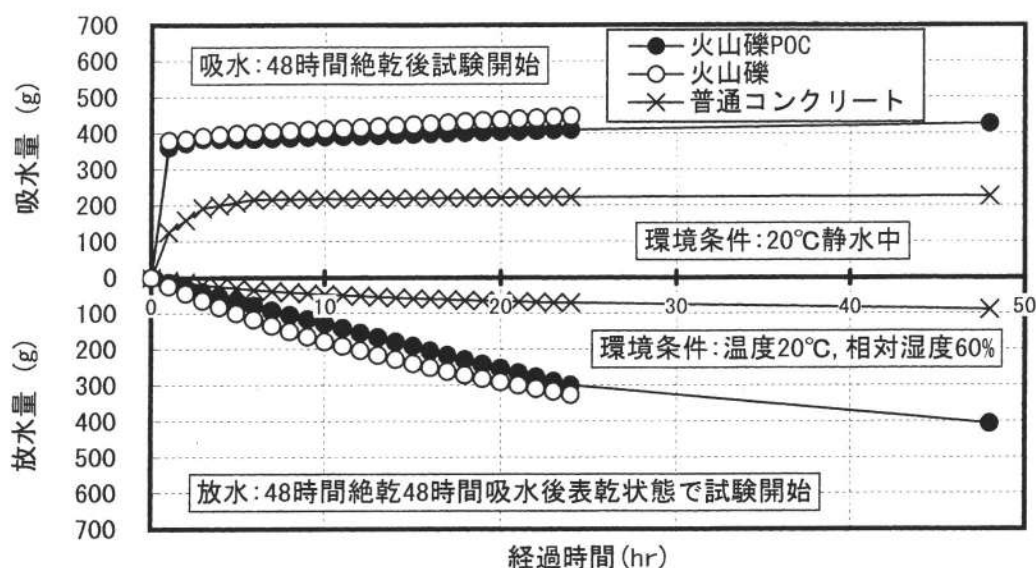


図4 火山礫と火山礫POCの吸放水量の経時変化

て、火山礫POCの吸放水量は大きく、またセメントペーストで被覆された影響が少ないため、火山礫自体の吸放水性を発揮できることが明らかとなった。そして、吸水に対して放水が緩速であることから、POCは保水性を有しており、潜熱による気温低減効果を持続的に発揮すると判断された。熱収支による計算結果を後述する。

表6に、火山礫を用いたポーラスコンクリートの物性を示す。単位容積質量は、普通コンクリートの約44%と軽量であることがわかる。一方、圧縮および曲げ強度は極めて小さく、構造部材として使用するレベルの力学

的性質は有しないと考えられることから、普通コンクリートの表面を被覆して前述の吸放水特性を活用することを検討した。なお、このような低強度、高吸水率かつ軽量の火山礫POCを、実際のコンクリート構造部材の表面に被覆可能か否か、暴露試験によりそれ自体の耐久性を検討した。

図5に、屋外暴露試験の材齢と相対動弾性係数の関係を示す。図より、相対動弾性係数は100%以上を有している。これは屋外暴露試験の初期における水和反応の進行と供試体の乾燥により、密度が減少して共鳴振動数が増加し、相対動弾性係数が100%以上になったものと考えられ、約2年(越冬2回)経過した現時点において、この値の低下は認められない。図6に、前図と同時に測定した材齢と質量減少率の関係を示す。

表6 火山礫を用いたポーラスコンクリートの物性値

単位容積質量 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ):28日間水中養生後	圧縮強度 ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	曲げ強度 ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )
1009	0.70	0.25

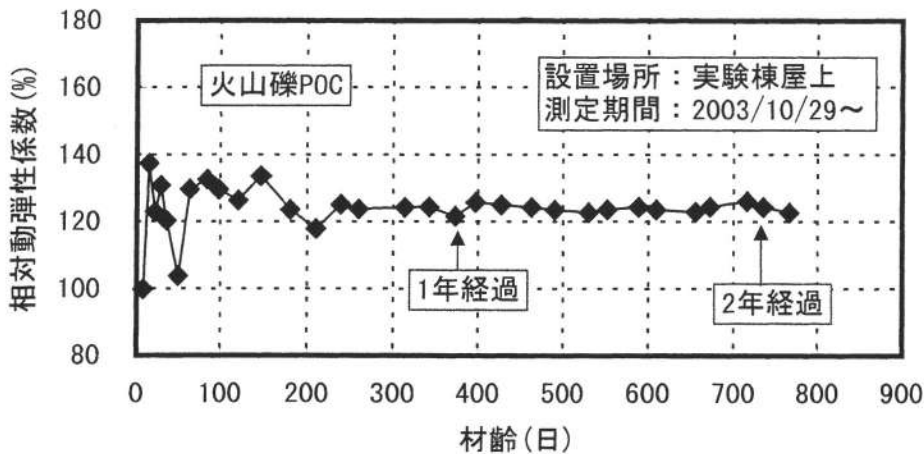


図5 材齢と相対動弾性係数の関係

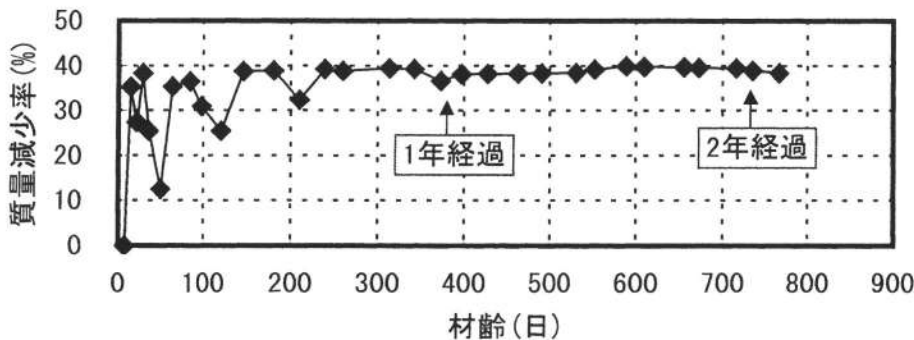


図6 材齢と質量減少率の関係

図より、質量減少率は試験開始後7日間晴天が続いたことにより、多量の水分が蒸発して、供試体質量が試験開始時と比べて35%程度減少した。その後、天候の変動に伴い水分蒸発や降雨による吸水が繰り返され40%程度となったが、約2年を経過した現時点において、供試体の損傷に伴う質量の低下は認められない。ここで、試験開始7日後の供試体質量を基準として質量減少率を算出すると180日目で5.6%、766日目で4.9%となり、大きな変化は見られなかった。すなわち、質量減少率が40%程度となったのは水分蒸発によるものであり、耐久性の低下は現時点においては認められないと判断された。また、目視観察において供試体の損傷は確認されなかった。

したがって、火山礫POC自体は屋外暴露試験において、明確な耐久性の低下は認められないことから、コンクリート構造部材の表面被覆材としての適用は可能であると考えられるが、今後さらに計測を継続しなければならない。

## 6. 火山礫POCの気温低減効果

図7に、縦横300mm、厚さ60mmの平板を屋外に暴露して、これに埋没した熱電対による断面中心温度の計測結果を、1週間ごとの平均値(9~17時の平均値)で示す。測定期間は、夏季2ヶ月間(8週間)であった。比較として同寸法の普通コンクリートの結果も示した。図より、普通コンクリートは2ヶ月間を通じて屋上気温より最大4℃高く、大気へ放熱すること、これに対して火山礫POCは屋上気温よりも最大4℃低く、大気から吸熱して気温を下げる効果を有していることが明らかとなった。同時期に、平板表面における日射の短波反射率の測定を行った。図8に、火山礫POCおよび普通コンクリートの平板表面における日射の短波反射率の変化を測定1週

間ごとの平均値で示す。なお、短波反射率とは、日射の反射による大気へ放出される熱量であり、全天日射計により計測した日射量に色差計により測定した平板表面の反射率を乗じて算出される。図より、火山礫POCの短波反射率は普通コンクリートより平均15.3%小さく、大気を温める放射熱の一つである短波放射熱量が小さくなることからわかる。

図9に、一例として暴露試験開始直後から2週間における火山礫POCと普通コンクリートの9~17時の放水量の日変化を示す。図より、火山礫POCは、普通コンクリートと比較して放水量がきわめて大きく、乾燥によって放水量は減少するが、降雨によって平板が吸水することで放水量が増加して、放水現象が回復することが示された。これらの結果より、火山礫POCは放水量が多いため、火山礫粒子中の水分蒸発に伴う気化潜熱の発生

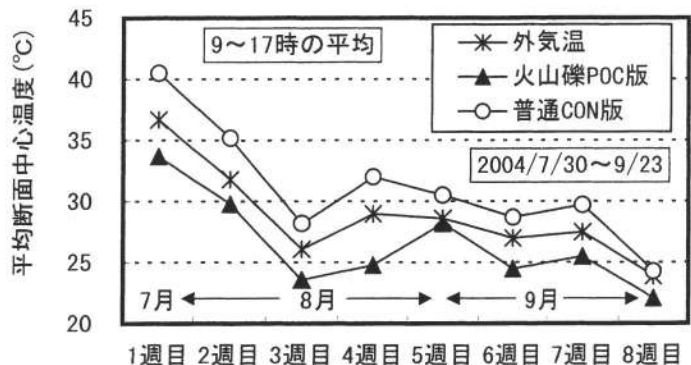


図7 1週間ごとの平均断面中心温度の変化

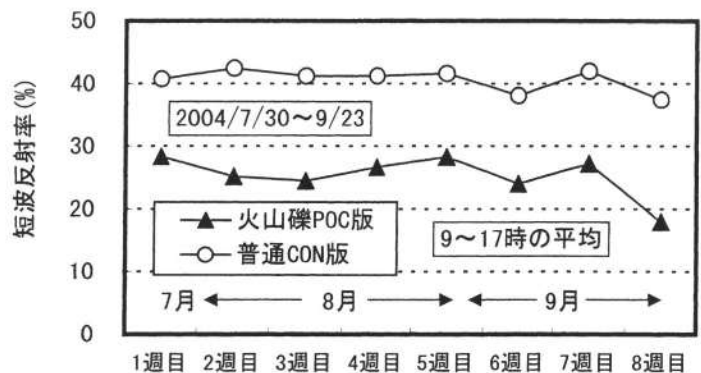


図8 1週間ごとの短波反射率の変化



により断面中心温度の上昇が低減されることで、平版の熱源効果も低減されたと考えられる。

図10に、一例として測定1日目および7日目でのコンクリート種別ごとの熱収支の比較を示す。なお、用いたデータは9～17時の間の1時間当たりの平均熱量である。

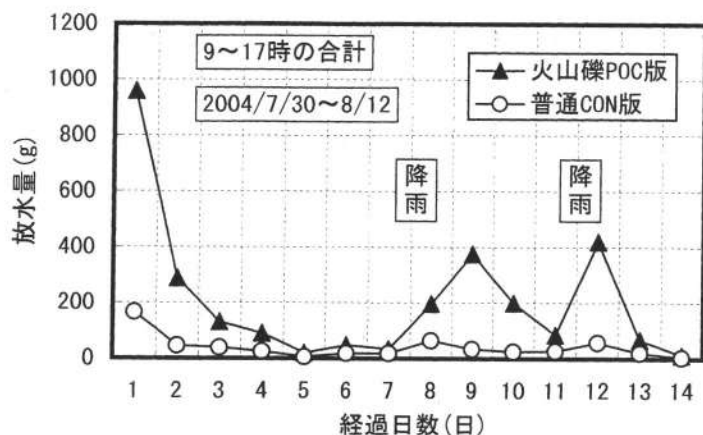


図9 経過日数と放水量の変化

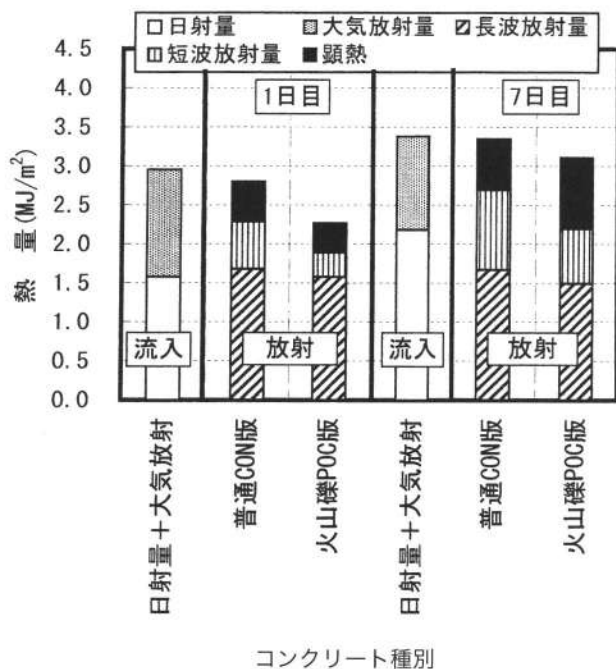


図10 コンクリート種別による熱収支の比較

図より、平版に加わる熱量（流入熱量＝日射量＋大気放射量）は、測定1日目において $2.95\text{MJ/m}^2$ 、7日目において $3.38\text{MJ/m}^2$ であった。これに対して、平版から放出される熱量（放射熱量＝長波放射量＋短波放射量＋顕熱）は、普通コンクリートの場合、測定1日目および7

日目とも流入熱量と同程度であったのに対して、火山礫POCの場合、測定1日目において $3.27\text{MJ/m}^2$ 、7日目において $3.11\text{MJ/m}^2$ であり、測定1日目において $0.68\text{MJ/m}^2$ 、7日目において $0.27\text{MJ/m}^2$ の流入熱量が潜熱として解消されていることがわかる。ここで、（流入熱量－放射熱量）を熱源効果の低減程度と考えた場合、測定1日目において、火山礫POCは普通コンクリートの4倍、測定7日目において約9倍であって、経過日数の増加に伴って、水分蒸発に伴う保水量の減少による放射熱量の増加傾向が認められるものの、火山礫POCの放射熱量低減効果は大きく、気温の上昇を低減する効果を有することが示された。なお、このような傾向は測定日が異なる場合にも同様に認められた。

上記のような特徴を有する火山礫POCを、普通コンクリート版上面に被覆することによる大気放射熱量削減程度を検討するため、被覆した場合およびこれを行わない普通コンクリート内部の温度測定を行った。被覆とは、厚さ60mmの普通コンクリートの縦横300mmの面上に同寸法の火山礫POC版を設置したものであり、屋外に曝露して埋設した熱電対により断面中心温度を測定した。図11に、普通コンクリート版のみおよび被覆した普通コンクリート版の断面中心

温度の日最高温度と日最低温度の推移を示す。図中には比較として24時間の外気温平均値を示した。図より、被覆した普通コンクリート版の温度変動幅は測定期間を通じて小さく、普通コンクリート版の温度上昇を低減していることがわかる。

表7に、火山礫POC版の被覆の有無による普通コンクリート版断面中心の日最高温度の平均値を示す。表より、被覆しない場合、断面中心の日最高温度の平均値は日最高気温の平均値より3.9℃高いのに対して、被覆した場合、日最高気温の平均値より2.3℃低く、被覆しない場合より6.2℃低くなることから、火山礫POC版の普通コンクリート表面への被覆は、コンクリートの熱源効果を大きく緩和して大気放熱量が少なくなるため、気温低減に効果的であることがわかった。

## 7. おわりに

火山列島であるわが国には火山礫が各地に埋蔵されている。その物理的性質は、産地により異なるが軽量であり、火山礫はこれを特長としてコンクリート用骨材として資源の一翼を担って来た。この過程において、もう一つの性質である高吸水率に対しては、骨材としてコンクリートの耐久性を損なう要因と考えられて来た。

一方、1990年頃から建設材料としてのコンクリートに対しても他の材料開発分野と同様に環境負荷低減性能が要求されるようになり、緑化、再生、透水コンクリートなどの研究と実用化が行われるようになって来た。

筆者らは、火山礫が高吸水率を

有し、これが環境負荷低減材料となり得ることに着目し、ヒートアイランド現象を緩和するためのポーラスコンクリートの開発研究を実施したのでその結果を火山礫の骨材特性の概要とともに紹介した。火山礫は重要なコンク

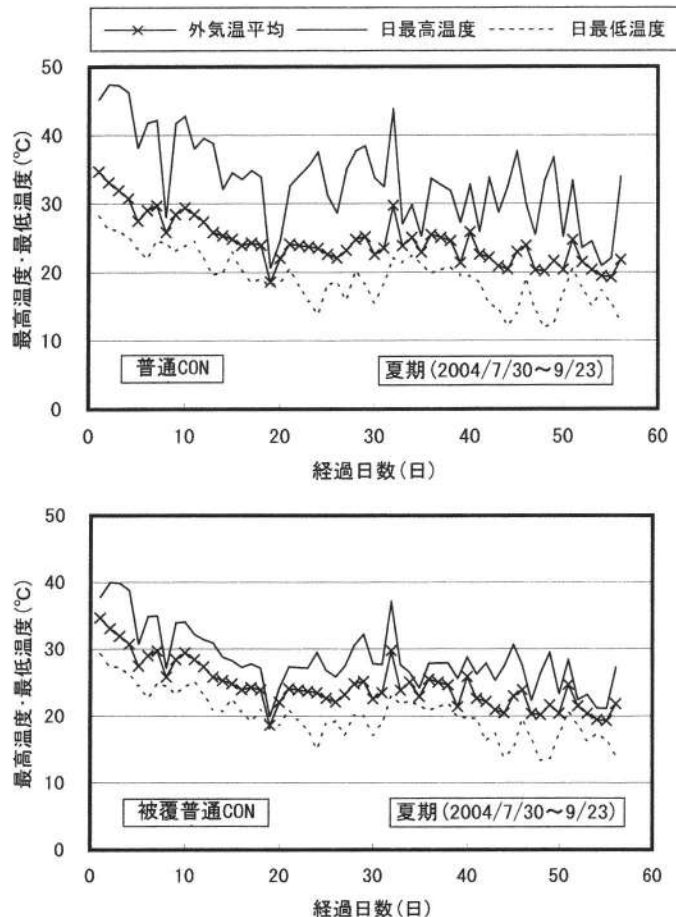


図11 火山礫 POC 版の被覆の有無による普通 CON 版の最高・最低温度の推移

表7 火山礫 POC 版の被覆の有無による普通コンクリート版断面中心の平均日最高温度の比較

	被覆無	被覆有
外気温の日最高気温平均値	32.7℃	
普通コンクリート版断面中心の日最高温度の平均値	36.6℃	30.4℃



リート用骨材資源であるが、これまで用いられてこなかった特性を活用することによって、これまで以上に有用な資源に変わり得る。なお、ここに紹介した火山礫PO

C版は、擁壁面や砂防ダム下流側表面に試験的に用いられていることを付記する。

# 参 考 文 献

- 1) 鈴木淑夫：岩石学事典、朝倉書店、p. 430、(2005)
- 2) 岡野武雄：軽量骨材資源、丸善、p. 81、(1996)
- 3) 土木学会：コンクリート標準示方書 [施工編]、(2002)
- 4) 岡野武雄：軽量骨材資源 (その4) 火山礫 (1)、地質ニュース 3月号、pp. 20~28、(1965)
- 5) 岡野武雄：軽量骨材資源 (その4) 火山礫 (2)、地質ニュース 6月号、pp. 12~22、(1965)
- 6) 加賀谷誠他：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)
- 7) 加賀谷誠、飯村弥：火山礫コンクリートを用いた緑化屋根の室温調整機能、日本コンクリート工学協会コンクリート工学年次論文集、Vol. 23、No. 1、pp. 115~120、(2001)
- 8) 新西成男他：ポーラスコンクリートの水質浄化特性に関する実験的研究、日本コンクリート工学協会コンクリート工学年次報告集、Vol. 21、No. 1、pp. 247~252、(1999)
- 9) 中澤隆雄他：ポーラスコンクリート製吸音壁の吸音性状に関する実験的研究、日本コンクリート工学協会コンクリート工学年次論文集、Vol. 25、No. 1、pp. 1205~1210、(2003)
- 10) 城門義嗣、加賀谷誠：火山礫を用いたポーラスコンクリートのヒートアイランド現象抑制効果に関する検討、土木学会論文集、No.781/V-66、pp. 133~143、(2005)

---

## The Aggregate Characteristics of Lapilli and The Effect of Atmospheric Temperature Reduction of Lapilli Concrete.

KAGAYA Makoto, SHIROKADO, Yoshitsugu,  
IIMURA Wataru