

# 論文 活性アルミナ粉末混入モルタルの温度上昇抑制効果の検討

坂本 健\*1・高橋 篤史\*2・橋本 親典\*3・渡辺 健\*4

**要旨:** 筆者らは、ポーラスコンクリートに変わる新しい保水性建材の開発を目指して、活性アルミナボールの混入したモルタルの表面を洗い出し、2層構造に成形したコンクリート平板の温度上昇抑制効果、および保水能力を確認した。しかし、活性アルミナボール自体が高価で、作製の特殊性が問題である。本研究では、活性アルミナボールの原材料である活性アルミナ粉末を混入したモルタルを作製し、製造工程の省力化を試みた。曲げ・圧縮強度試験、および模擬日射照射試験を実施した。結果、W/C を大きくしセメントペーストのポーラス化を図ることで、粉末でもボールを混入したモルタルと同等以上の温度上昇抑制効果を確認した。

**キーワード:** ヒートアイランド現象, 吸水, 活性アルミナ

## 1. はじめに

近年問題となっているヒートアイランド現象は、緑地の減少、人工排熱の増加、建築物の高層化、密集化による風通りの悪化など、様々な要因が重なって起きている。しかし、日中最も寄与している要因として、緑地の減少や人工被服面の増加による、蒸発散作用の冷却効果が弱くなるのが大部分を占めている。一方、夜間最も寄与している要因は、高層建築物による天空率の減少により、放射冷却が妨げられることが大部分を占めている。したがって、緑地に代わる保水性建材の開発が急務である。例えば、保水性建材の一種のポーラスコンクリートは、その空隙部に蓄えた雨水などの蒸発による温度上昇抑制効果が期待できる。現状の技術として保水性建材としてのポーラスコンクリートの機能をより高める方法として空隙中に吸水性樹脂を注入したポーラスコンクリートが提案開発されている<sup>1,2)</sup>。また、ポーラスコンクリートに植物を植え付けることによりコンクリートに緑

化を施して温暖化対策を行う技術が提案されている。<sup>2)</sup>

筆者らは、通常の骨材と比較して保水能力が高い活性アルミナボール（本来、主に吸着剤、乾燥剤に利用）を混入したモルタルと普通コンクリートとの2層構造に成形した特殊ブロックにより、現在使用しているポーラスコンクリートと同等以上の性能を寄与させることを目的とした。そして、ある程度の温度上昇抑制効果を得ることを確認した<sup>3)</sup>。

図-1に高橋ら<sup>3)</sup>が使用した試験体と今回使用した試験体の温度上昇抑制機構の概念図を示す。高橋ら<sup>3)</sup>は100×200×10mmの型枠の底面にあらかじめ硬化遅延剤を塗っておき、活性アルミナボールを混入したモルタルペーストを流し込む。1日後脱型し、表面に活性アルミナボールが出るように洗い出しを行った。その表面に出た活性アルミナボールが水分を吸水し、日射を受けたときにその気化熱によって温度上昇を抑制するメカニズムであった。しかし、この作製方法は大変手間を要し、活性アルミナボール自体が高価であった。

今回の研究では、活性アルミナ粉末を40×40×160mmモルタル内に混入し、W/Cを大きくしポーラス化を図った。

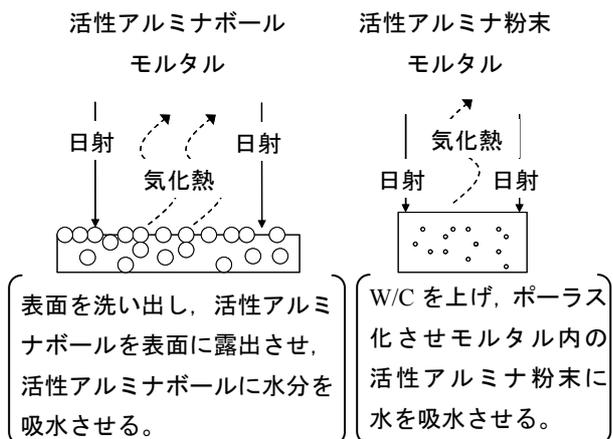


図-1 温度上昇抑制機構の概念図

表-1 使用材料の物理的性質

材料	種類
セメント	普通ポルトランドセメント (密度 3.16g/cm <sup>3</sup> , 比表面積 3380cm <sup>2</sup> /g)
細骨材	石灰細目細砂 (粒径 2.5~0.6 mm, 密度 2.65g/cm <sup>3</sup> )
水酸化アルミニウム	H <sub>2</sub> O 0.02%, L.O.I 34.4%, SiO <sub>2</sub> 0.00%, Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 0.01%, Na <sub>2</sub> O 0.15%, Al(OH) <sub>3</sub> 99.8% 密度 0.82g/cm <sup>3</sup> , +150μm 0%, +45μm 63.4%

\*1 徳島大学大学院 先端技術科学教育部 知的力学システム工学専攻 修士前期課程 1年 (正会員)  
 \*2 徳島大学大学院 先端技術科学教育部 知的力学システム工学専攻 博士後期課程 1年 (正会員)  
 \*3 徳島大学大学院 ソシオテクノサイエンス研究部エコシステムデザイン部門教授 博(工) (正会員)  
 \*4 徳島大学大学院 ソシオテクノサイエンス研究部エコシステムデザイン部門准教授 工博 (正会員)

表-2 各モルタルの配合とスランプロー値

記号	W/C (%)	活性アルミナ粉末混入率 (全容積百分率) (%)	S/C	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )					スランプロー値 (mm)
				W	C	S	活性アルミナ粉末	AE 減水剤	
50A0	50	0	3	293	586	1758	0	0	190
W60A5	60	5		327	545	1634	132	8.16	178.5
W65A5	65			350	539	1616	132	8.09	227.0
W70A15	70	15		334	477	1431	396	7.15	100
W75A15	75			354	472	1416	396	7.07	100
W80A15	80			374	467	1401	396	6.99	100
W85A15	85			393	462	1386	396	6.91	100
W90A15	90			412	457	1372	396	6.88	108
W95A15	95			430	453	1358	396	6.80	130.5
W100A15	100			438	438	1314	386	6.72	135.0
W105A15	105			466	444	1331	396	6.64	163.5
W110A15	110			483	439	1318	396	6.60	123.2
W115A15	115			629	572	1717	515	6.52	134.8
W120A15	120	517		431	1293	396	6.48	154.1	

ポーラス化させることで、モルタル内の活性アルミナ粉末の吸水量を増加させる。ハロゲンライトによる模擬日照射試験を行い、高橋らの特殊ブロックと同等以上の温度上昇抑制効果を検討する。

## 2. 実験概要

### 2.1 使用材料

#### 2.1.1 使用材料の物理的性質

表-1 に今回実際に使用した材料の物理的性質を示す。2.1.2 活性アルミナ

アルミナは組成式  $Al_2O_3$  で表されるアルミニウムの酸化物である。結晶形態には  $\alpha$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$ ,  $\theta$  があり、焼成温度によって変化する。 $\gamma$  アルミナは高比表面積を有するので触媒担体に利用されるが、構造用の多結晶焼結体は  $\alpha$  アルミナになる。 $\alpha$  アルミナの焼結体は化学的に安定で融点が高く、機械的強度が高い、電気絶縁性が高いといったバランスの取れた優れた特性を持っている。活性アルミナとは、水酸化アルミニウムから高温安定相である  $\alpha$  アルミナへの転移過程における準安定相である比較的高い表面積を有する数種類の物理構造を有するアルミナの総称である。活性アルミナは表面積が非常に大きく触媒に利用されることから吸水量が非常に大きい。図-2 に高橋らの研究で用いた活性アルミナボールの吸水量、吸水後元の重量になるまでの乾燥日数を示す。図-2 より活性アルミナの吸水量が非常に多く、長期間の水分保持が可能であると言える。

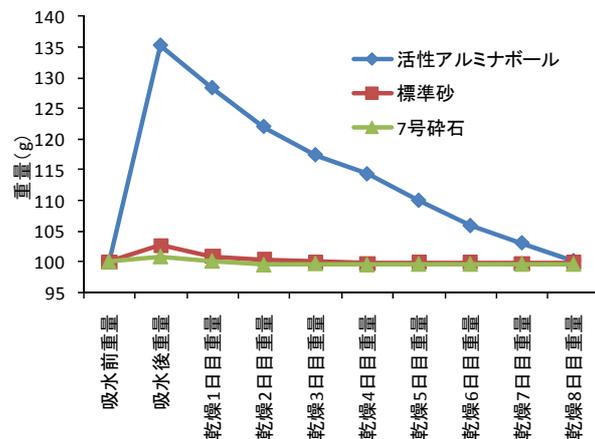


図-2 活性アルミナボールの吸水量

今回の試験では、マッフル炉を用いて水酸化アルミニウムを  $600^{\circ}C$  で焼成し、活性アルミナを得た。アルミナが活性化されているか確認するために、一般的な X 線解析を行った。

### 2.2 配合

表-2 にそれぞれのモルタルの配合を示す。各モルタルの W に続く数値は水セメント比を表し、A に続く数値は活性アルミナ粉末の混入率を表す。活性アルミナ粉末の混入率を 15% 一律とし、W/C を変化させた。ただし、W/C60, 65% は単位水量が少なく、活性アルミナ粉末の吸水量が非常に多く作製が困難であったため、活性アルミナ粉末の混入率を 5% にした。比較のため普通モルタル

ル (W/C50%, 混入率 0%) も用意した。

### 2.3 活性アルミナ粉末モルタルの作製

練混ぜ方法は JIS R 5201:1997 に準じる。

- 1) 規定量の水, セメント, 活性アルミナ粉末を順に投入する。
- 2) 低速 30 秒後規定量の石灰細砂を 30 秒間で投入する。
- 3) 高速回転 30 秒後 90 秒休止, 最初の 15 秒でさじを用いモルタルをかき落とす。
- 4) 高速回転 60 秒後さじで 10 回かき混ぜる。

上記の手順で行い, モルタル供試体成形用三連型枠を用いて 40×40×160mm の角柱モルタルを作製した。

### 2.4 スランプフロー試験, 圧縮, 曲げ強度試験

スランプフロー試験は JIS R 5201:1997 に準じて行う。

圧縮強度試験及び曲げ強度試験は材齢 7, 14, 28 日に JIS R 5201:1997 に準じて行う。角柱モルタルを所定の試験材齢まで 20℃で水中養生した。ただし, 空隙の多い W/C100%を超える試験体に関しては, 水中養生では硬化しなかったため 20℃湿度 100%の気中養生を行った。

### 2.5 模擬日射照射試験

#### (1) 試験装置

図-3 に試験装置および試験時間を示す。装置は, 高橋らの研究を参考にした。試験体の上面以外からの水分や熱の移動を防ぐために側面と底面に防水シートを敷いた。発泡ポリスリレンフォームにより断熱を行い, 外気温の影響を受けないように試験装置の周りを発泡ポリスリレンフォームで覆った。

#### (2) 試験方法

試験体は強度試験に用いた形状と同様, 養生 28 日の試験体を使用する。試験方法は高橋ら<sup>3)</sup>の研究を参考にした。すべての試験体を 105±5℃で乾燥させ室温まで冷やし, 絶乾重量を測定した。その後, 24 時間水中で十分吸水させ表面の水を拭き, 表乾重量を測定した。表乾重量から絶乾重量を引いた値を水分量とした。その後, モルタルの上下に熱電対を取り付け, ハロゲンライトの赤外線照射の影響を受けないよう熱電対の上に断熱材を

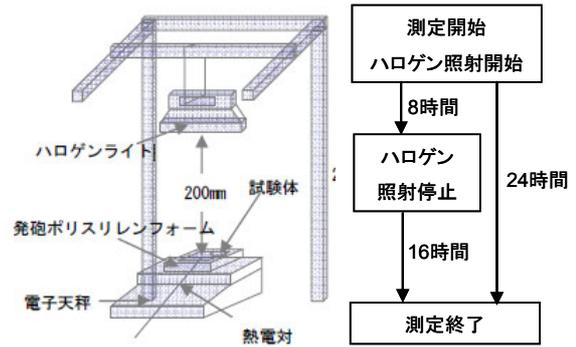


図-3 試験装置および試験時間

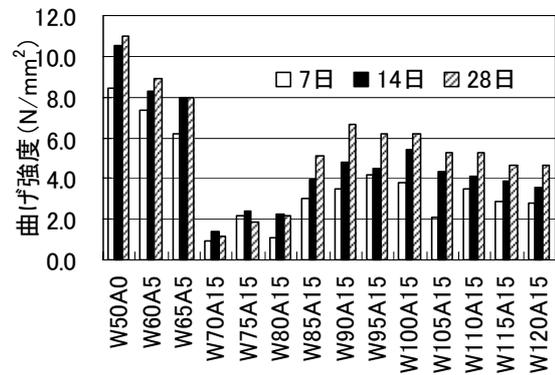


図-4 曲げ強度試験結果

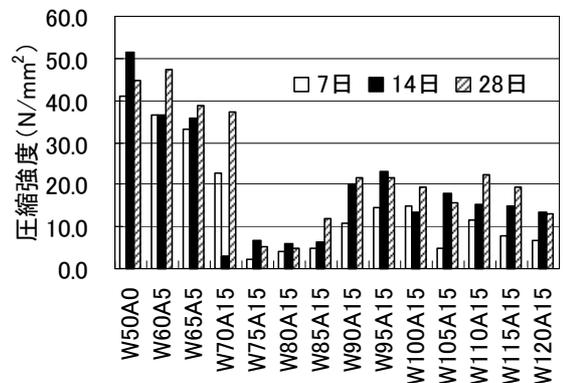


図-5 圧縮試験結果

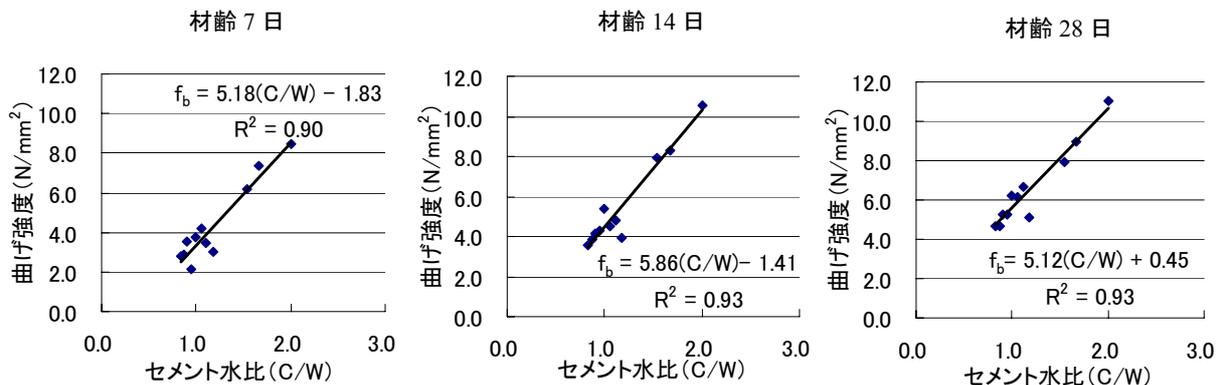


図-6 材齢 7, 14, 28 日におけるセメント水比 (C/W) と曲げ強度の関係

付けた。ハロゲンライト（500W）から試験片の距離を200mmとし、温度変化と水分蒸発量を同時に測定した。一定条件化での温度上昇抑制効果の検討を行うため、温度 $20\pm 5^{\circ}\text{C}$ 、湿度 $60\pm 5\%$ に設定した。測定開始8時間はハロゲンライトで照射し、その後の16時間はハロゲンライト照射を停止した。想定した測定時期の屋外の日照時間を、日中8時間、夜間16時間とした。測定開始から30分おきにデータロガーで温度測定、電子天秤で水分蒸発量を24時間測定した。

### (3) 高橋らの試験との相違点

高橋らの試験と今回の試験の相違点を以下に示す。

- 1) 一定条件化温度 $20\pm 5^{\circ}\text{C}$ 、湿度 $60\pm 5\%$ の環境下で行った。
- 2) 試験体を $100\times 200\times 10\text{mm}$ の活性アルミナボール混入モルタルから $40\times 40\times 160\text{mm}$ の活性アルミナ粉末混入モルタルに変更した。

## 3. 実験結果および考察

### 3.1 スランプフロー試験、圧縮、曲げ強度試験結果

表-2 にスランプフロー結果を示す。図-4 に曲げ強度試験結果、図-5 に圧縮強度試験結果を示す。表-2 より W50A0 プレーンモルタルのスランプフロー値190mmに対し、W70A15~W80A15のスランプフロー値が100mmと初期値(100mm)との差が0であり、モルタルの作製が困難であることがわかる。これは活性アルミナ粉末の吸水量が多いためである。それらの試験体は、極端に水が不足しセメントの十分な水和反応が起こらず、圧縮、曲げ強度共に発現しなかったと考える。焼成ブロックの強さの指標は、そのほとんどが曲げによって破壊されるため、以後曲げ強度について検討する。

図-4 より、材齢が経過するに従ってセメント水和反応によって強度が増進している。JASS 7M 101 インターロッキングブロックの品質規格において、歩行者系道路の曲げ強度規定が $3.0\text{N}/\text{mm}^2$ であり、作製が困難であったW70A15~W80A15を除くすべての試験体は材齢14日にはこの規定を満足している。

#### (1) W/C の変化

W70A15~W80A15を除き、活性アルミナ粉末モルタルの強度はW/Cが増えるに従って低下する。図-6 に材齢7, 14, 28日のセメント水比(C/W)と曲げ強度の関係を示す。材齢によらず相関性を示している。W70A15~W80A15を除く混入率の多い試験体も養生時間を長く取ることで強度増進を図ることができる。

#### (2) 活性アルミナ粉末の混入率

W70A15~W80A15を除く活性アルミナ粉末の混入率15%の試験体について、材齢7日のW100A15強度が落ちているのは、モルタルが材料分離を起こしたためだと

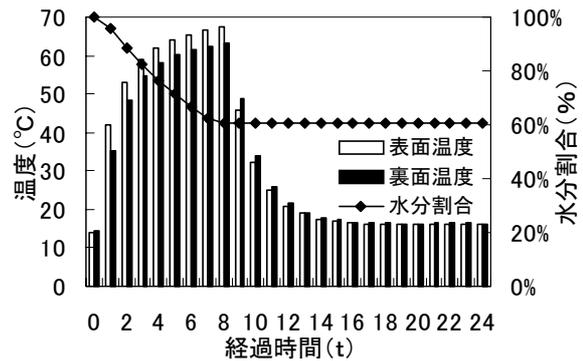


図-7 W50A0の温度変化と水分割合の関係

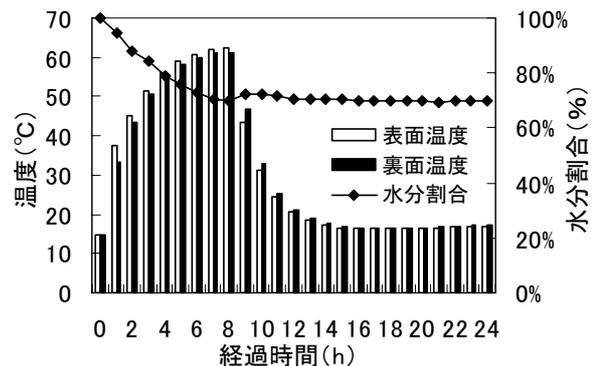


図-8 W65A5の温度変化と水分割合の関係

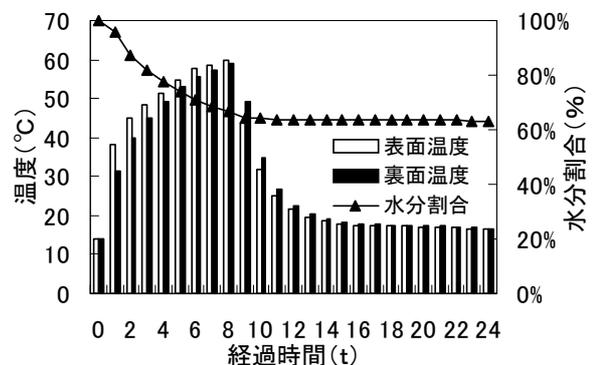


図-9 W110A15の温度変化と水分割合の関係

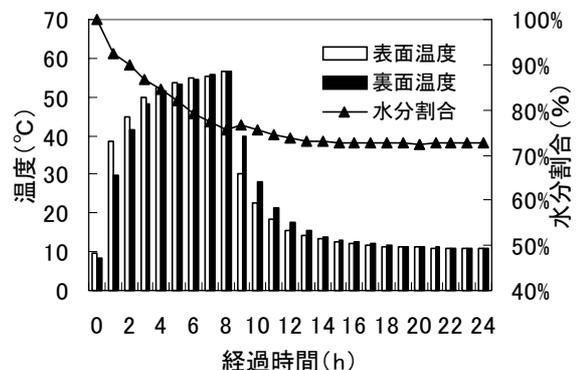


図-10 活性アルミナボールモルタルの温度変化と水分割合<sup>3)</sup>

考える。図-6より、材齢に関係なく曲げ強度とC/Wは比例する。また、材齢が進行するに従い同一C/Wでの曲げ強度は増加すると言える。活性アルミナ粉末混入がセメントの水和反応過程に悪影響を及ぼすことはない。

### 3.2 模擬日射照射試験結果

作製が困難だったW70A15～W85A15を除く全10試験体で実施した。図-7～図-9に代表的にW50A0, W65A5, W110A15の温度変化及び水分割合の変化を示す。なお、水分割合A(%)を(1)式で算出した。

$$A = \frac{\gamma}{\alpha - \beta} \times 100 \quad (1)$$

試験体の表乾重量を $\alpha$ 、絶乾重量を $\beta$ 、試験体の重量測定時の水分量を $\gamma$ とする。測定終了直後の水分割合(以後、最終水分割合と略す。)が高いほど、その試験体は吸水した水分を保持し続ける能力が高いことを示す。W50A0, W65A5, W110A15の最大表面温度は67.5℃, 62.2℃, 59.8℃であった。最終水分割合はそれぞれ60%, 70%, 64%であった。試験体の裏面は防水シートと発泡ポリスチレンフォームで覆われているため熱の逃げ場が無く裏面の方がハロゲンライトを切った後は温度が高くなっている。

#### (1) 高橋らの研究結果との比較

図-10, 11に高橋らの研究によって報告された活性アルミナボール混入モルタルと普通モルタルの模擬日射照射試験の結果<sup>3)</sup>を示す。活性アルミナボールモルタルと普通モルタルの最大温度はそれぞれ56.4℃, 63.1℃でその差6.7℃であった。最終水分割合73%, 51%であった。高橋らが用いた試験体と今回用いた試験体のそれぞれの表面温度差、最終水分割合差を評価すると同等以上の結果が得られたと言える。

#### (2) 水分割合

本来W50A0での最終水分割合が60%であるならば、W/Cを上げるとモルタルがポーラス化され最終水分割合は低下する。しかし、W110A15でも最終水分割合は60%以上保っている。活性アルミナ粉末の保水能力が高いことに起因する。モルタル内に多く保水することが温度上昇を抑制するときには重要である。この根拠は高橋らによって証明されており、図-12にポーラスコンクリートの模擬日射照射試験結果<sup>3)</sup>を示す。水分割合が高いのは底面に水が溜まって蒸発しなかったためである。ポーラスコンクリートは空隙が多く吸水量は多い。しかし、空隙が大きく表面水がすぐに蒸発し、結果的には温度を一時的に抑制するだけで長期間の抑制効果は期待できないことが報告されている。

#### (3) 表面温度履歴

図-13に代表3試験体の表面温度履歴を示す。ハロゲンライト照射1時間後の温度上昇率はどの試験体もほぼ

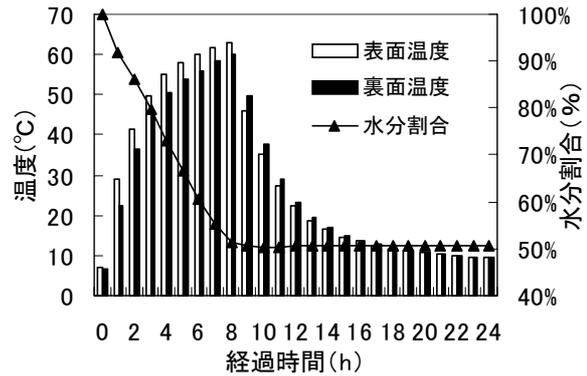


図-11 普通コンクリートの温度変化と水分割合<sup>3)</sup>

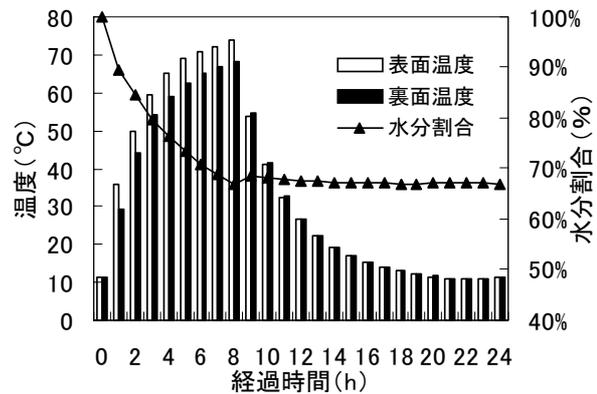


図-12 ポーラスコンクリートの温度と水分割合の関係<sup>3)</sup>

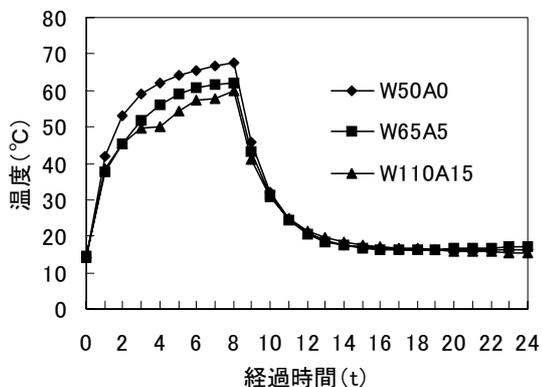


図-13 表面温度履歴

同じである。しかし、照射開始2時間後から活性アルミナ粉末混入率で温度差が生じ、照射開始3時間後に活性アルミナ粉末の混入したことによって温度差が生じた。

#### (4) 活性アルミナ粉末混入率と最大表面温度の関係

図-14にすべての試験体の最大表面温度と活性アルミナ粉末混入率の関係を示す。混入率の増加に伴って最大表面温度は低下傾向にある。特に混入、未混入との最大表面温度差は約5℃と大きく、5%と15%混入との差は約3℃と温度低下率はやや低下する。

### (5) 吸水量と最大表面温度の関係

図-15 にすべての試験体の吸水量と最大表面温度の関係を示す。吸水量を増加することで最大表面温度は低下する傾向にある。吸水量の増加の主要因は、活性アルミナ粉末混入による吸水量増加であり、W/C を大きくすることでも吸水量は増加する。W110A15～W120A15 の表面温度経過から、W/C の増加により吸水量が微増し、最大温度上昇を抑制する傾向にある。これはモルタルのポーラス化が進んだためであると考える。

### (6) 水分蒸発量と最大表面温度の関係

図-16 にすべての試験体の水分蒸発量と最大表面温度の関係を示す。5%混入することでの水分蒸発量はほぼ同じであったが、最大温度に大きな差が生じた。その結果から、必ずしも水分蒸発量と温度上昇抑制効果に関係しているとは限らないと考える。活性アルミナ粉末混入率を5%から15%に増やすことで水分蒸発量が増加し、最大表面温度が下がる。これは気化熱による効果であると考えられるが、W110A15～W120A15 の温度低下は蒸発量には関係なく、モルタル内の吸水量が影響すると考える。吸水量の増加に相当する蒸発量の増加は、活性アルミナ粉末混入率5から15%に上がるころ以外を確認できない。しかし、温度上昇は抑制された。これは活性アルミナ粉末の保水能力が高いことが要因であり、モルタル内に保水することが温度上昇を抑制するために重要であると考える。

## 4. まとめ

本研究の結果について以下に報告する。

- 1) 活性アルミナ粉末を混入しても曲げ強度と C/W の比例関係に悪影響を及ぼすことはない。
- 2) 活性アルミナ粉末を混入したモルタルは高橋らの研究で用いた活性アルミナ粉末ボールを混入したモルタルと同等以上の温度上昇抑制効果がある。
- 3) W/C を大きくすることで、モルタルをポーラス化させ、モルタル内に多くの水分を供給させることができた。活性アルミナ粉末の混入率を上げることで吸水量の増加、水分の長期間保持能力を寄与させることができる。
- 4) 温度上昇抑制効果をもたらす要因は活性アルミナ粉末の保水能力、吸水量、蒸発量であるが最も重要なのは、活性アルミナ粉末の保水能力である。

### 参考文献

- 1) 寺西浩司, 吉永美香, 永井伴英, 諏訪達也: 温度上昇抑制効果を有するポーラスコンクリートブロックの開発 (その 1. 予備的な模擬日射照射試験), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1295, pp 589-590,

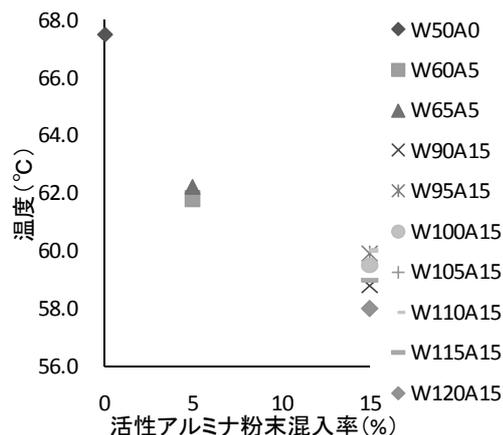


図-14 活性アルミナ粉末混入率と最大表面温度の関係

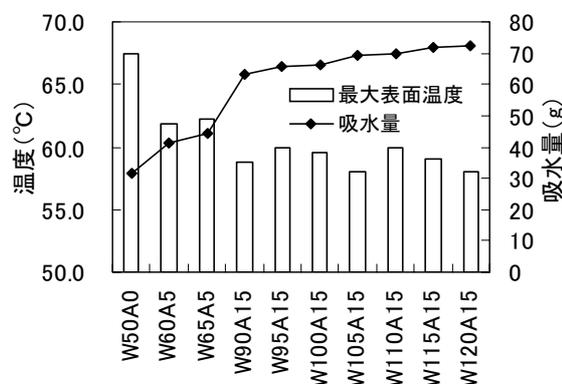


図-15 最大表面温度と吸水量の関係

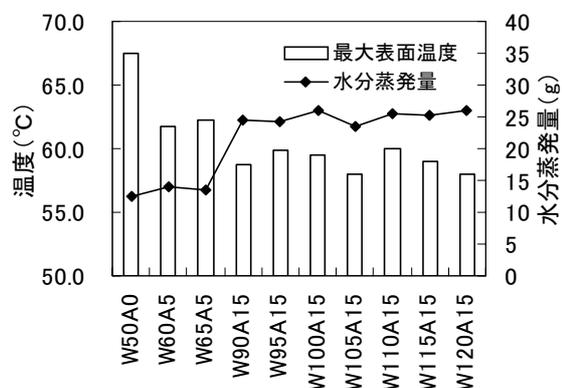


図-16 最大表面温度と水分蒸発量の関係

2008.9

- 2) 河上晃一郎, 村上聖, 武田浩二, 浦野登志雄: 産業副産物を活用したポーラスコンクリートの緑化基盤材への応用, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1422, pp859-860
- 3) 高橋篤史, 橋本親典, 渡辺健, 石丸啓輔: 温度上昇抑制効果能力をコンクリートに付与するモルタルの開発, コンクリート工学年次論文集, Vol.32, No1, pp.1829-1834, 2010