

保水性コンクリートに関する研究開発

Research and Development of Water-Retaining Concrete

住 学*¹ 山口 博史*² 梶山 毅*¹
Manabu Sumi Hiroshi Yamaguchi Tsuyoshi Kajiyama
高松 誠*² 大原 達朗*³
Takamatsu Makoto Tatsuo Ohara

要旨

本開発では事務所・集合住宅などの建物屋上を対象として、「打ち水」により屋上スラブ面と周辺気温の温度上昇を抑制する保水性材料・システムの構築を目指した。今回の開発成果を以下に示す。

- 1) 打ち水の効果を長時間保つことのできる「CAPブロック」について、目標性能である保水量 0.15g/cm^3 、吸上げ高さ 70%、曲げ強度 1.0N/mm^2 を確保できる調査の検討を行った。
- 2) 小型モデル実験により温度上昇抑制効果を検証中である。
- 3) 本開発技術により、ヒートアイランド現象緩和対策に寄与する環境配慮型の提案が可能となる。

キーワード：打ち水 ヒートアイランド 保水性 コンクリート 温度上昇抑制効果

1. はじめに

近年、地球の温暖化により、世界レベルで気温の上昇が進んでいる。図1に示すように1861年以降、気温は上昇傾向にあり、20世紀中では気温上昇量が $0.6 \pm 0.2^\circ\text{C}$ と報告されている¹⁾。

一方、日本においても平成16(2004)年の夏には各地で最高気温の記録を更新するなど、気温の上昇が続いている。気象庁による全国主要都市の観測結果では、過去100年当たりの平均気温の上昇率は約 $1^\circ\text{C}/100$ 年であり、図2に示すように中小規模の地方都市と比較し、東京などの大都市での上昇率が大きくなっている。これは地球温暖化による影響に加え、都市化が進行したことによる昇温とされるヒートアイランド現象が大きな要因となっている²⁾。

こうした背景をふまえ、本開発では、事務所・集合住宅などの建物屋上を対象として、「打ち水」により屋上スラブ面と周辺気温の温度上昇を抑制する保水性材料・システムの構築を目的とした。新規開発の「打ち水」の効果を長時間保つことのできる保水性材料により屋上を被覆することで、散水による蒸発潜熱を利用して屋上スラブ面の温度上昇を抑制し、ヒートアイランド現象緩和対策、屋内冷房負荷の低減、さらに屋上露出防水層の保護効果を期待するものである。

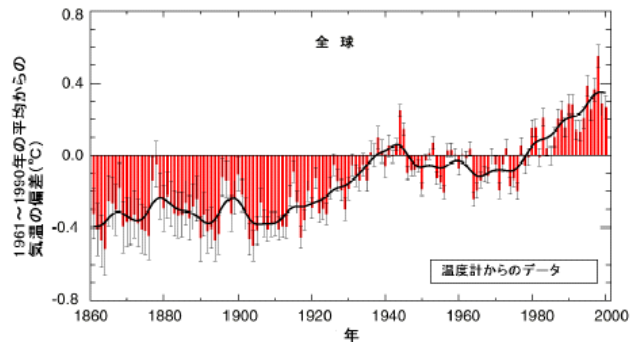


図1 地球の平均気温の変化¹⁾

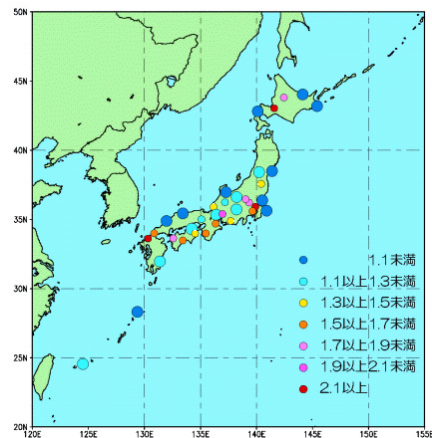


図2 100年当たりの年平均気温の上昇率²⁾

1.1 ヒートアイランド現象

温暖化等による世界的な気温上昇の中、都市部では人口集中や、建造物の増加（緑地の減少）などにより、都市部の気温が周辺地域よりも高くなり、都市とその郊外を含めた地域の等温線を描くと、島の形のような高温部が都市部に現れる。これをヒートアイランド現象と呼んでいる。関東地域では、気温 30℃ を超える時間数を積算した場合、1981～1999 年の間に 2 倍以上に増加している（図 3）³⁾。

ヒートアイランド現象を形成する要因を模式的に表したものを図 4 に示す⁴⁾。ヒートアイランド現象は、都市化に伴う「地表面被覆の人工化」、「人工排熱の増加」、「都市形態の変化」が大きな要因とされる。なかでも都市部での地表面の人工被覆は増加の傾向にあり、東京都では人工的に被覆される面積の割合は 80% を超えている（図 5）⁵⁾。

1.2 建設業界の対応

施策やガイドラインとして「エコマテリアルの採用」、「開発地区での緑化推進・風の道の計画」、「省エネ対策としての建物の冷暖房負荷低減」などが策定され、国土交通省や東京都などの各行政機関において主導的に取り組まれている（図 6）⁶⁾。特に、建設業界ではヒートアイランド現象緩和対策である「地表面被覆の改善」として、「建物緑化・整備」、「保水性舗装・建材の利用」、「高反射・遮熱塗料の利用」などの技術開発が積極的に行われている。

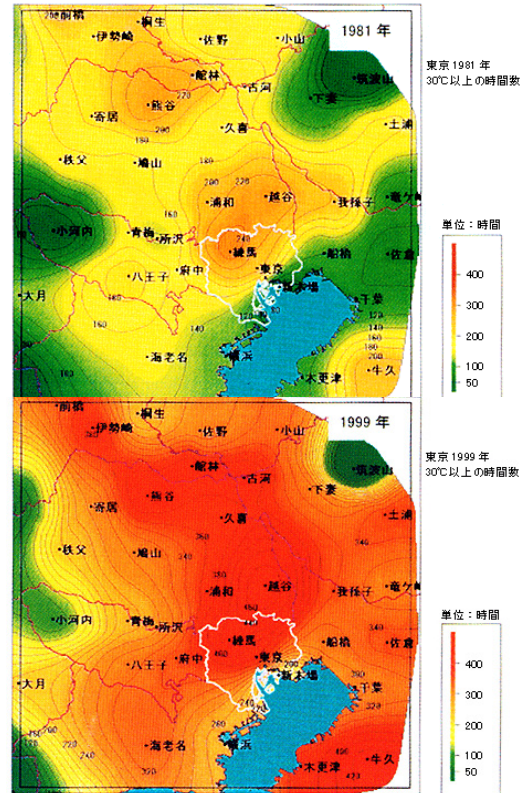


図 3 気温 30℃ 以上の延べ時間変化³⁾

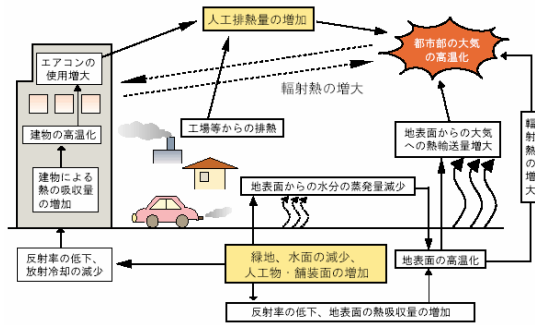


図 4 ヒートアイランド現象の形成要因⁴⁾

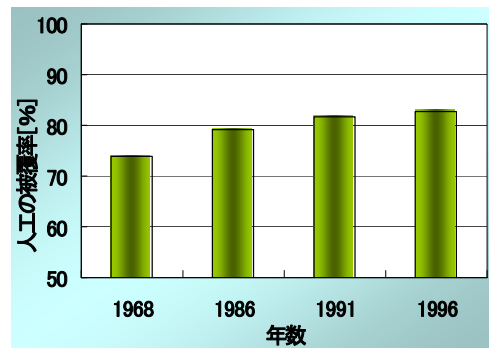


図 5 東京都の地表面の人工被覆率の推移⁵⁾



図 6 ヒートアイランド対策（国土交通省）⁶⁾

2. 開発の概要

2.1 開発目的

ヒートアイランド現象緩和対策、並びに建物屋上表面温度上昇抑制による室内の省エネルギー化(人工排熱の減少)を目的に、事務所、集合住宅などの建物屋上を対象として、「打ち水」による屋上スラブ面と周辺気温の温度上昇を抑制する保水性材料・システムを開発することを目的とした。

今回開発する保水性材料は、これまでに開発され、市販されている保水性舗装用ブロックと異なり、軽歩行用として低コスト・軽量化を実現できる材料を目標とした。また、システムとしては既存の散水設備を利用することとした。本システムでは、下記に示すような効果が期待される。

[ヒートアイランド現象緩和対策]

- ・打ち水効果により建物上空の大気を冷却
 - 失われた緑地回復の一助
- ・打ち水効果による屋上スラブ温度の上昇抑制
 - 冷房負荷低減の可能性
- ・ヒートアイランド現象緩和対策の提案
 - 環境対策技術の蓄積

[コスト削減]

- ・屋上緑化に代わる低コストのヒートアイランド対策システム
- ・緑化植物のメンテナンス費用等の削減
- ・屋上露出防水層の低コストな保護ブロックによる耐久性向上

2.2 システム概要

本開発では市販の保水性材料の性能を検証し、打ち水効果が有効に発揮できる保水性材料を選択するとともに、当社オリジナルの保水性材料を開発し、散水システムを組み合わせたシステムを構築することとした。システム概要イメージの一例を図7に示す。

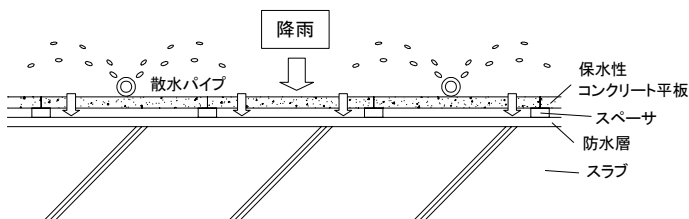


図7 システム概要

2.3 保水性材料

保水性材料は、水分を保持する空隙を備え、蓄えた水分が蒸発する際に蒸発潜熱として水蒸気が熱を奪い、屋上面の温度を下げるのが可能な材料である。また、毛細管現象により下層の水分を吸い上げて保水することも可能である。

ヒートアイランド現象緩和対策として用いられる保水性材料は、インターロッキングブロックの保水性能を向上させたコンクリート系、レンガやセラミックスなど焼成過程を経て製造されるセラミックス系に分類される。こうした保水性材料は、温度上昇抑制効果の比較実験結果⁷⁾によると、ブロックの種類により表面温度上昇抑制効果が1時間程度～10時間程度と幅があり、材料の保水性能との関連も認められる。表1に保水性ブロックの種別を示す。

表1 保水性材料の分類

種別	セラミックス系	コンクリート系
特徴	<ul style="list-style-type: none">・焼成により成形・磁器質 焼成温度 1250℃以上・陶器質 焼成温度 1000℃以上・高価	<ul style="list-style-type: none">・セメント系材料により固化・骨材が多孔質、連続空隙・セメントペースト質が多孔質・セラミックス系よりも安価

2.4 散水システム

保水性材料で建物屋上を被覆して温度上昇抑制効果を期待するためには、定期的な散水が必要である。散水量・散水時間については、その保水性材料の保水性により決定する。散水量に関しては、保水性材料が一定量の水分を保持するために、降雨による給水を考慮して、必要に応じて散水を行うことを基本とする。レインセンサによる散水の発停や保水性材料内部に埋め込んだ湿度センサ等による散水量の調整が可能と考えられる。散水に用いる水は水道水を想定するが、雨水の再利用も可能とする。

3. 開発システム

3.1 保水性材料の要求性能

保水性材料に求められる要求性能を以下のように定める。性能目標値は、保水性舗装用コンクリートブロックの品質規格⁸⁾に準じて表2のように設定した。

- ・保水性能：既存製品に近い保水性能
- ・軽歩行用：メンテナンス対応歩行用とし、通常の歩行者系道路としての曲げ強度 3.0N/mm²は不要
- ・産業廃棄物の有効利用
：石炭火力発電所排出の石炭灰のうち有効利用されるフライアッシュを除いた粗粒分の利用

表2 保水性材料の性能目標値

各種性能	保水性	吸水性	曲げ強度(圧縮)
JIPEA 規格	保水量 0.15g/cm ³ 以上	吸上げ高さ 70%以上	3.0N/mm ² 以上 (17.0)
目標数値	保水量 0.15g/cm ³ 以上	吸上げ高さ 70%以上	1.0N/mm ² 以上 (6.0)

3.2 散水システムの要求性能

保水性材料で建物屋上を被覆してヒートアイランド現象緩和や躯体の冷却効果を期待するためには、定期的な散水が必要である。散水量・散水時間については、保水性能等により決定する。散水量に関しては、保水性材料が一定量の水分を保持するために、降雨による給水を考慮して、必要に応じて散水を行うことを基本とする。散水に用いる水は水道水を想定するが、雨水の再利用も可能とする。

3.3 保水性材料の開発

保水性材料に使用する材料を表3に示す。セメントは初期強度を確保するために早強ポルトランドセメントとし、これに、有機繊維材料と石炭灰（粗粒分）を加えて、それぞれの保水性能を生かし、特殊混和剤により施工性を改善させるものとした。特殊混和剤はセメント硬化体に微細空隙を形成することで、保水性をも付与できるものである。

石炭灰は石炭火力発電所から排出される産業廃棄物であり、微粒分であるフライアッシュを除く粗粒分の多くが埋め立て処分されているため、有効利用先が求められているのが現状である。本開発の保水性材料は産業廃棄物の受け入れ先ともなり、原材料コストとしては輸送コストが中心となるため、低コスト化が実現できると考えられる。

名称は、材料である石炭灰（粗粒分，CA）と有機繊維材料の頭文字（P）を組合せ、建物屋上を被覆する帽子（CAP）の意味を持たせ「CAPブロック」とした。写真1、2に石炭灰（粗粒分）および有機繊維材料の外観を示す。

表3 使用材料

材料	物 性 等
セメント	早強ポルトランドセメント 密度：3.16g/cm ³
有機繊維材料	気乾状態における吸水率：約20% 園芸用資材として用いられ、保水性・吸水性に優れる
石炭灰	石炭火力発電所において排出される石炭灰のうち微粒分であるフライアッシュを除いた粗粒分を使用。主成分は一般土壌とほぼ同じで大半は二酸化ケイ素と酸化アルミニウム。粒子の表面には1~20μmの無数の細孔が存在し、保水性に優れる。 密度：2.1~2.3g/cm ³ 乾燥密度：1.1~1.2g/cm ³ 浸水膨張率：0.012~0.036% 比表面積：3.5~4.5m ² /g 細孔容積：0.15cc/g
特殊混和剤	2液混合型特殊増粘剤 水に対し0.5~5.0%の2液等量混合により、高い増粘性能が得られ、セメントペーストにおいては硬化体に微細空隙を形成し、保水性を付与する。

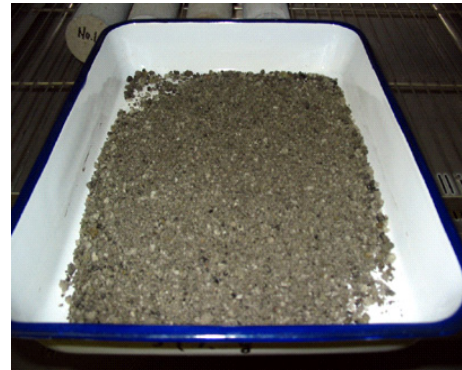


写真1 石炭灰（粗粒分）



写真2 有機繊維材料

試し練りの結果、表4に示す割合により所要の性能目標値を満足することが確認できた。強度および保水性能は、このバランスを調整することにより変更可能である。ただし、強度と保水性能は相反する要求性能であり、強度を確保するために保水性能を調整する必要がある。

表4 CAPブロックの割合例

計量値 (上段 見かけかさ容積L, 下段 g)				
水	セメント	石炭灰 (粗粒分)	有機繊維材料	特殊増粘剤
1.35 1350	2.00 2600	2.00 1800	2.00 300	水に対する 質量% (内割り) 各 2%

4. 既存の保水性材料を用いた比較実験

4.1 試験体

比較実験に用いた試験体は、市販の保水性材料のうち、セラミックス系 4種類、コンクリート系 2種類に加えて、コンクリート平板ならびに今回開発したCAPブロックとした。

4.2 試験項目および試験方法

試験項目および試験方法を表5に示す。曲げ強度試験は各ブロックから切り出した試験片(40×40×160mm)により実施した。圧縮強度は曲げ試験終了後の試験片を用いて、40×40mmの載荷板により行った。保水性能を表す指標のうち、保水量および吸上げ高さは(社)インターロッキングブロック舗装技術協会(JIPEA)による品質規格である「保水性舗装用コンクリートブロックの品質規格」⁸⁾に準拠して行った。

表5 試験項目および試験方法

試験項目	試験方法・規格等	
強度試験	曲げ強度 (N/mm ²)	JIS A 5371 (プレキャスト無筋コンクリート製品) 推奨仕様2-1 (平板), 2-3 (インターロッキングブロック) 等
	圧縮強度 (N/mm ²)	JIS A 5371 (プレキャスト無筋コンクリート製品) 推奨仕様2-1 (平板), 2-3 (インターロッキングブロック) 等
保水性能	保水量 (g/cm ³)	JIPEA保水性舗装用コンクリートブロックの品質規格
	吸上げ高さ (%)	吸水性試験, 30分間の吸上げ高さ JIPEA保水性舗装用コンクリートブロックの品質規格
	吸水率/含水率 (wt%, vol%)	JIS A 5406 (建築用コンクリートブロック) 吸水試験等
	気乾/表乾密度 (g/cm ³)	JIS R 1250 (普通れんが) 等
温度上昇抑制効果	ハロゲンランプ照射による水分飽和状態からの試験体温度測定 ⁷⁾	

温度上昇抑制効果確認試験は、以下のように実施した。

- ① 供試体はブロックそのまま、もしくは任意の寸法に切り出した供試体とする。
- ② 温度センサーをブロック表面に接着する。
- ③ ブロックを水中 (15~25℃) で 24 時間吸水させ、供試体を取り出して濡れウエスで水膜をぬぐう。
- ④ ブロック上面から 30~50cm (任意の距離) 離し、ハロゲンライト 500~800W を照射してブロック内部の水分を蒸発させる。その際の表面温度の経時変化を測定する。測定は定常状態になるまでを基本とする。

4.3 試験結果

4.3.1 強度試験結果

切り出し供試体による強度試験結果を表6に示す。曲げ強度では、表2に示した目標値に対する強度比で、セラミックス系が1.8~4.0、コンクリート系で1.7~3.0、CAPブロックは2.0であった。なお、圧縮強度に対する曲げ強度の比はセラミックス系において0.19~0.65、コンクリート系で0.17~0.29であった。

表6 強度試験結果 (切り出し供試体による)

試験体	種別	曲げ強度の強度比	圧縮強度の強度比
A	セラミックス系	2.7	2.6
B		1.8	0.7
C		4.0	1.1
D		2.3	1.2
E	コンクリート系	1.7	1.2
F		3.0	2.2
CAPブロック		2.0	1.1

強度比はそれぞれ表2に示した目標値に対するものとした。

A~Fは曲げ強度が3.0N/mm²、圧縮強度が17.0N/mm²

CAPブロックは曲げ強度が1.0N/mm²、圧縮強度が6.0N/mm²

4.3.2 保水性能試験結果

保水性能試験結果を表7に示す。湿潤状態である表乾密度はセラミックス系で1.7~2.1 g/cm³、コンクリート系で2.0~2.3 g/cm³、CAPブロックでは1.2~1.8 g/cm³であった。保水量はセラミックス系が0.16~0.30 g/cm³、コンクリート系で0.14~0.21 g/cm³であった。一方、CAPブロックでは0.35~0.44 g/cm³であり、目標保水量である0.15/cm³を満足する結果となった。なお、吸水性の指標である吸上げ高さは、ブロックにより試験を行い、セラミックス系で95~99%、コンクリート系で90~98%、CAPブロックでは77%であった。

表7 保水性能試験結果 (ブロックによる)

試験体種別	試験体寸法(mm)	表乾密度 (g/cm ³)	絶乾密度 (g/cm ³)	吸水量 (g)	吸水率 (%質量)	吸水率 (%体積)	保水量 (g/cm ³)	吸上げ高さ (%)
A	98.0 × 198.0 × 60.0	2.15	1.95	235.1	10.3	20.2	0.20	96
B	148.0 × 298.0 × 49.0	1.80	1.60	439.9	12.7	20.4	0.20	95
C	148.0 × 298.0 × 49.0	1.78	1.56	486.4	14.4	22.5	0.23	99
D	295.0 × 295.0 × 60.0	1.86	1.59	1402.9	16.9	26.9	0.27	99
E	98.0 × 198.0 × 60.0	2.20	1.92	318.2	14.2	27.3	0.27	90
F	98.0 × 198.0 × 60.0	2.14	1.95	214.9	9.5	18.5	0.18	98
コンクリート平板	295.0 × 295.0 × 60.0	2.36	2.23	690.2	5.9	13.2	0.13	11
CAPブロック	150.0 × 300.0 × 50.0	1.33	0.92	931.1	45.0	41.4	0.41	77

4.3.3 温度上昇抑制効果確認試験結果

温度上昇抑制効果確認試験結果を図8に示す。温度上昇抑制効果が認められたものは、セラミックス系ではA、B、D、コンクリート系ではEが5時間程度の温度上昇抑制効果を発揮した。一方、CAPブロックは既存の保水性材料と比較して、温度上昇曲線にセラミックス系のような温度停滞を示す明確な棚はないものの、コンクリート平板と比較して10℃程度低く保たれる結果となった。なお、今回の比較実験は各ブロック1枚について実施しており、同一サイズの試験体による比較実験の実施も必要と考えられる。また、温度上昇抑制効果は、水が蓄えられる細孔構造が大きく関与していると考えられ、細孔径分布の測定などが必要と考える。

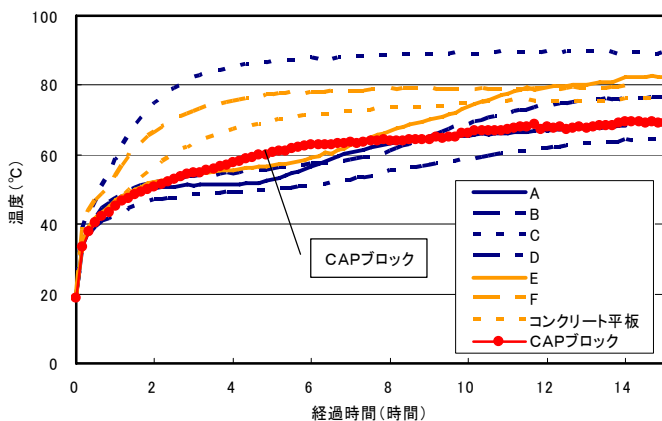


図8 温度上昇抑制効果確認試験結果(ブロックによる)

4.4 システム検証のための小型モデル実験

小型モデル実験概要を表9に、設置状況等を写真3に示す。今後、夏期検証を実施予定である。

表9 小型モデル実験概要

実施場所	技術研究所3Fテラス (茨城県つくば市)
試験体種類	セラミックス系 4種類 コンクリート系 2種類 コンクリート平板, CAPブロック
モデルサイズ	各種 約1m ² 合計 約8m ²
設置工法	インターロッキングブロック工法
設備等	スプレー式散水設備 (プログラムタイマーによる発停)
計測点	ブロック表面および裏面、外気温



写真3 設置状況 (左), 散水状況 (右)

5. まとめ

開発成果を以下に示す。

- ・「打ち水」の効果を長時間保つことのできる「CAPブロック」の調合選定を行い、保水量 0.15g/cm³以上、吸上げ高さ 70%以上、曲げ強度 1.0N/mm²以上を確保した。
- ・小型モデルにより温度上昇抑制効果を検証中である。
- ・本技術により、ヒートアイランド現象緩和対策に寄与する環境配慮型の提案が可能と考える。

なお、保水性材料を用いた場合の躯体温度上昇抑制効果や、冷房負荷低減等に関する解析などについては、今後の検討課題とする。

【謝辞】

各社より試験体を提供いただいた。ここに謝意を表します。

【参考文献】

- 1) IPCC : 第三次評価報告書, 2001
- 2) 気象庁 : 20世紀の日本の気候, 2002.3
- 3) 環境省 : 平成12年度 ヒートアイランド現象の実態解析と対策のあり方についての報告書<増補版>, 2001.10
- 4) 環境省 : ヒートアイランド対策の推進のために, 2000.12
- 5) 東京都ヒートアイランド対策推進会議 : ヒートアイランド対策取組方針~環境都市東京の実現に向けて~, 2003.3
- 6) 国土交通省 : 平成17年度国土交通白書
- 7) 萩原伸治, 藤本哲夫, 田坂太一, 岡田朋和 : 保水性建材の蒸発性能に関する実験, 日本建築学会大会梗概集 D-1, pp.637-638, 2005.9
- 8) JIPEA : 保水性舗装用コンクリートブロックの品質規格, 2005.7