

平成 22 年 4 月 16 日現在

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2008～2009

課題番号：20760387

研究課題名（和文）ポーラスコンクリート舗装の蒸発冷却効果の評価と予測に関する研究

研究課題名（英文）Estimation of Evaporative Cooling Effect on Porous Concrete Pavement

研究代表者

北野 博亮（KITANO HIROAKI）

三重大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号：80293801

研究成果の概要（和文）：透水性舗装材料のポーラスコンクリートを対象として、その熱および水分特性を測定し、測定した物性値の妥当性を検討するために屋外実験を行った。測定した物性値を用いた熱水分同時移動方程式の数値計算結果は実験結果とよく一致した。また、ポーラスコンクリート舗装を含む各種舗装の熱特性に関して年間のシミュレーションを行い、ポーラスコンクリート舗装の水分蒸発冷却効果は砂質土壌の裸地に比べ小さく、蒸発冷却効果はあまり期待できないことが明らかとなった。

研究成果の概要（英文）：A porous concrete has properties of high water permeability and water retentivity and is used as a pavement material. Thermal and moisture properties of porous concretes with different void fractions were measured and identified in order to calculate a thermal behavior of porous concrete pavement with simultaneous heat and moisture transfer equations. The calculated results for a thermal behavior of the porous concrete agreed well with results of field experiment. Numerical analyses of heat and moisture behavior for both various pavement and surface ground was conducted and it was found that the porous concrete pavement is much less than a bare ground in effect of evaporative cooling.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2009 年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,800,000	840,000	3,640,000

研究分野：建築環境設備

科研費の分科・細目：建築学・建築環境・設備

キーワード：保水性舗装，ポーラスコンクリート，蒸発冷却，水分特性，液相水分伝導率，熱水分同時移動

1. 研究開始当初の背景

国内における保水性舗装の蒸発冷却効果に関する研究の多くは、屋外実験によって蒸

発量や冷却効果の例を示しているだけであり、舗装材料の蒸発冷却特性について一般性のある評価をしているとはいえない。蒸発効

率（蒸発比）²⁾を材料固有（湿潤状態）の一定値とみなし、それを指標として性能評価・蒸発量の予測などを行う研究も見られる。しかし、保水性材料からの蒸発量とその冷却効果は、材料内の含水率分布や材料の水分特性に依存するので、これらの影響が考慮されていない手法では、湿潤状態から絶乾状態に至るまでの過渡的な蒸発量の予測は不可能である。都市熱環境の予測・評価を目的とし、谷本ら³⁾や梅干野ら⁴⁾は、実験的に求めた材料内部の含水率と表面の濡れ率や蒸発比の関係から、地盤や保水性舗装からの蒸発量を予測する手法を提案している。これらは都市熱環境の予測評価には十分であるかもしれないが、舗装材料の蒸発量予測や評価には、予測精度が十分に高いとはいえない。松本の熱水分同時移動方程式⁵⁾によれば、材料内の熱水分性状と蒸発量の予測が可能であり、ALCを設置した屋根面の蒸発冷却効果の解析⁶⁾や地盤の熱水分性状解析⁷⁾などが行われ、その予測精度が高いことが確認されている。この解析を行うためには、材料の水分伝導率や水分特性曲線などの熱・水分物性が必要であるが、それらが測定されている材料が少ないことが問題である。

国外では、Kooiら⁸⁾が松本の熱水分同時移動方程式と同等の解析法を提案している。その他、目立った研究は見当たらない。

本研究課題は、ポーラスコンクリートの調合から熱・水分物性の推定を可能とし、ポーラスコンクリート舗装の透水性・保水性についての性能設計を可能とする点で意義が大きいと考える。

2. 研究の目的

都市部の気温が郊外よりも高くなるヒートアイランド現象は、建物空調や交通等からの人工排熱の増加に加えて、地表面被覆の人工化による熱容量の増大と地表水分の蒸発量低下が主な原因と考えられている。このヒートアイランド現象は、冬季に顕著にあらわれるが、近年は夏季の熱帯夜の出現日数の増加や昼間の気温、構造物・地表面温度の上昇が問題となっている。足永らは、東京 23 区の夏季の人工排熱量は全天日射量の約 18% に達し、そのうちの 8 割以上を顕熱排熱が占めると報告している。さらに、地表面が透水性の低いコンクリートやアスファルト等で被覆されると地表の日射受熱はほぼ顕熱の形で大気に放熱されることになる。このようにヒートアイランド現象の緩和のためには、人工排熱の低減に加え、大気への排熱・放熱に占める潜熱の割合を増大させることが必要であろう。

本研究では、地表面を透水・保水性能を有する材料で舗装することによる水分蒸発およびそれに伴う蒸発冷却効果に着目し、その

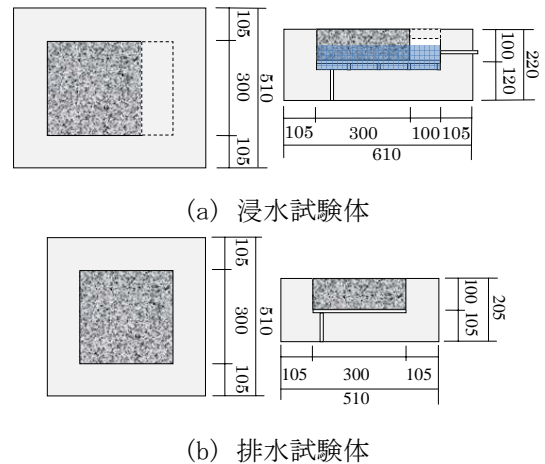


図1 屋外実験試験体平面図・断面図

効果の把握と予測を可能とし、透水・保水性舗装の熱的最適設計手法を確立し、ヒートアイランドの緩和と夏季屋外空間の酷暑緩和、それに伴う建物の熱負荷低減することを目指している。本研究では、透水性舗装材料として、ポーラスコンクリートを対象とし、調合が異なる数種類の材料の熱および水分特性を把握し、数値計算による蒸発冷却効果の把握を目的としている。

3. 研究の方法

種々の調合条件でポーラスコンクリート試験体を作成し、熱物性および水分物性を測定するとともに、屋外実験を行いポーラスコンクリートの熱的応答を測定した。

次に、測定した物性値を用いて熱水分同時移動方程式による数値計算を行い、屋外実験結果と比較し、測定した物性値の妥当性を検討するとともに、各種条件化での数値計算を行い、ポーラスコンクリート舗装の透水性・保水性に関する性能評価手法、熱的最適設計のための検討を行った。

3.1 水分特性の測定

水分特性曲線は、低含水領域については、飽和塩溶液を用いた方法により、相対湿度と含水率の関係を測定し、高含水率領域については、土壌の分野の土柱法と同様の方法で測定し、吸引力と含水率関係を推定した。これらをあわせて、水分特性曲線の近似関数を同定した。

3.2 液相水分伝導率の測定

平衡含水率測定と同様の自由吸水試験を行い、鉛直方向の体積含水率分布の経時変化を測定し、熱水分同時移動方程式を用いた計算結果と液相水分伝導率測定実験の結果の含水率がほぼ一致するように同定した。

表1 調査・空隙率・密度

試験体名称	8号23	8号31	8号29
砕石サイズ	1.25~2.50mm		
設計空隙率	0.15	0.20	0.25
水セメント比(%)	30		
設計単位重量 (kg/m ³)			
水	149	149	100
セメント	497	497	335
砕石	1,482	1,482	1,482
密度	1,945	1,839	1,830
絶乾空隙率	0.231	0.314	0.296

試験体名称	8号41	8号43	7号35
砕石サイズ	1.25~2.50mm		2.5-5mm
設計空隙率	0.30	0.35	0.25
水セメント比(%)	46	30	30
設計単位重量 (kg/m ³)			
水	92	52	105
セメント	200	173	351
砕石	1,512	1,482	1,455
密度	1,556	1,549	1,769
絶乾空隙率	0.411	0.431	0.349

3.3 屋外実験

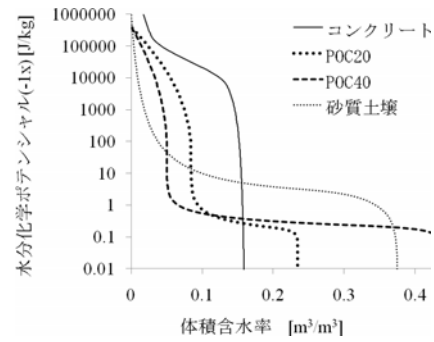
約300×300×100mmのポーラスコンクリート試験体をアクリル容器に入れ、その周囲をポリスチレンフォームで断熱し、アルミテープによって断湿した実験装置を作成した。試験体下部を浸水させる試験体(図1(a)浸水試験体)と、容器底面に貯水せず排水するタイプの試験体(図1(b)排水試験体)を屋外に設置し、試験体表面温度、日射量、外気温度等の測定を行った。浸水試験体では、浸水深さを変えて実験を行った。

測定した物性値を用いて、屋外実験のポーラスコンクリートの熱水分性状の数値計算を行い、測定した物性値の妥当性を検討した。

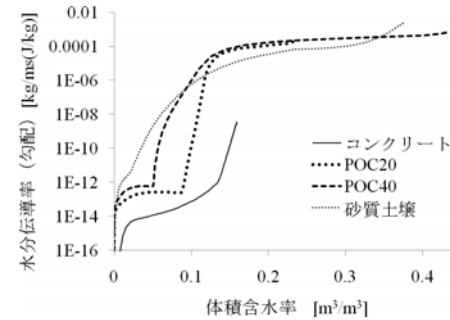
3.4 各種舗装の熱特性のシミュレーション

ポーラスコンクリートの熱・水分物性を用いて、地盤も含めた舗装の熱水分性状の数値解析を行い、各種舗装表面の熱特性について数値解析を行った。

砂質土壌の地盤の表面に、ポーラスコンクリート(POC20, POC40)およびコンクリート(CON), アスファルト(AS)の舗装材料(厚100mm)で舗装した、舗装と地下15mまでの地盤を計算対象とし、拡張アメダス気象データの東京の標準年の気象条件の下で解析を行った。アスファルト舗装を除く舗装材料内と地盤の熱水分性状は、鉛直方向1次元の熱水分同時移動方程式を用いて解析した。なお、アスファルト舗装材料内部は単純熱伝導とした。



(a)水分特性曲線



(b)液相水分伝導率(水分化学ポテンシャル勾配)

図2 水分物性

4. 研究成果

4.1 ポーラスコンクリート試験体

表1に制作した試験体の調査と測定した空隙率および絶乾密度を示した。

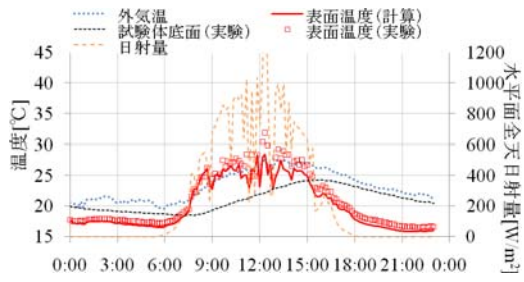
4.2 水分特性曲線と液相水分伝導率

図2に測定した水分特性曲線および液相水分伝導率の同定結果の例を、砂質土壌とコンクリートの物性値とともに示した。ポーラスコンクリートの保水性能は、その空隙ケイが大きいことから、砂質土壌に比べて低い。液相水分伝導率については、体積含水率が0.1程度以下で急激に低下する特徴がある。

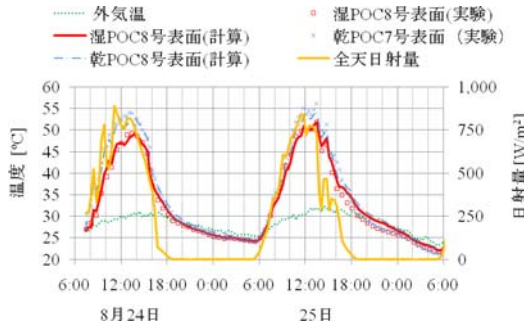
4.3 屋外実験

図3に屋外実験の結果と計算結果を示した。試験体下部を浸水させた試験体の実験では、試験体表面から水面までの距離が50mm程度であれば、試験体表面は濡れ率がほぼ1の状態に保たれ、蒸発冷却効果が期待できることが明らかとなった。一方、試験体を実験開始前に水没させて、湿潤状態とした排水試験体の実験では、試験体下部からの水分供給が十分でないため、表面がすぐに乾燥し、十分な蒸発冷却効果は期待できないが、乾燥試験体に比べると、5℃程度の表面温度の低下があることがわかった。

本研究で測定した物性値を用いた数値計算の結果は、屋外実験結果とよく一致しており、物性値はおおむね妥当であると判断した。



(a) 浸水試験体



(b) 排水試験体

図3 屋外実験結果及び計算結果の例

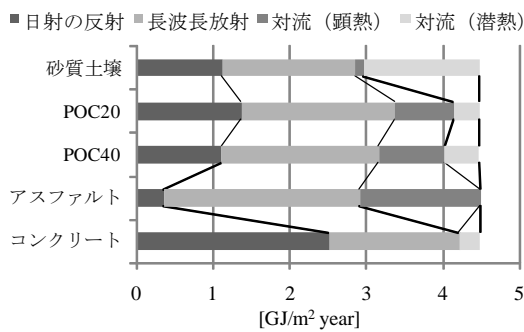


図4 地表面から大気側への年間積算放熱量

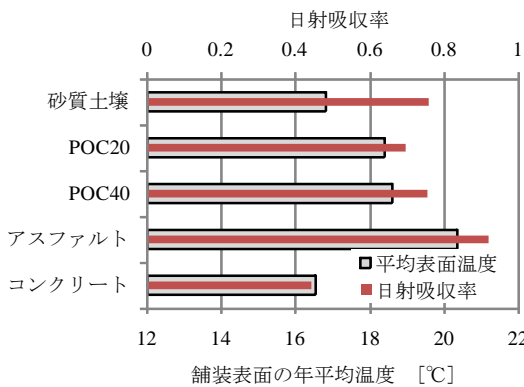


図5 舗装表面温度および日射吸収率の年平均値

4.4 各種舗装面の熱特性

図4には地表面から大気側への年間積算放熱量を示し、図5には各舗装表面の年平均温度と日射吸収率の年平均値を示した。舗装表面温度は、日射の吸収率が小さいコンクリートと水分蒸発冷却効果の高い砂質土壌の裸地の表面温度の年平均値は、年平均気温の

16.6°Cとほぼ同程度の値となった。一方、ポーラスコンクリート舗装は、アスファルト舗装よりも低いものの、コンクリート舗装に比べて、年平均で2°C程度高くなる結果となった。舗装表面での反射日射量は、コンクリートが最も高く、ポーラスコンクリートはその半分程度となる。蒸発冷却に関しては、ポーラスコンクリートは砂質土壌に比べて空隙径が大きく保水性能が低いことから、蒸発冷却効果はあまり期待できないことがわかった。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計4件)

- (1) 岡田陽介・北野博亮・石川幸雄, "透水性舗装の蒸発冷却効果に関する研究", 日本建築学会東海支部研究報告集, 48, pp. 321-324 (2010) (査読なし)
- (2) 岡田陽介・北野博亮・石川幸雄, "ポーラスコンクリート舗装の水分移動と蒸発冷却に関する研究", 太陽/風力エネルギー講演論文集, pp. 351-354 (2009) (査読なし)
- (3) 北野博亮・岡田陽介・石川幸雄, "ポーラスコンクリート舗装の蒸発冷却効果に関する研究 その2 屋外実験と数値解析", 日本建築学会学術講演梗概集D2, pp. 573-574 (2008) (査読なし)
- (4) 岡田陽介・北野博亮・石川幸雄, "ポーラスコンクリート舗装の蒸発冷却効果に関する研究 その1 水分物性値の測定", 日本建築学会学術講演梗概集D2, pp. 571-572 (2008) (査読なし)

[学会発表] (計4件)

- (1) 岡田陽介・北野博亮・石川幸雄, "透水性舗装の蒸発冷却効果に関する研究", 日本建築学会東海支部研究発表会 (2010. 2. 20-21) (名古屋市)
- (2) 岡田陽介・北野博亮・石川幸雄, "ポーラスコンクリート舗装の水分移動と蒸発冷却に関する研究", 日本太陽エネルギー学会・日本風力エネルギー協会 合同研究発表会 (2009. 11. 5-6) (長崎市)
- (3) 北野博亮・岡田陽介・石川幸雄, "ポーラスコンクリート舗装の蒸発冷却効果に関する研究 その2 屋外実験と数値解析", 日本建築学会大会 (2008. 8. 26-29) (東広島市)
- (4) 岡田陽介・北野博亮・石川幸雄, "ポーラスコンクリート舗装の蒸発冷却効果に関する研究 その1 水分物性値の測定", 日本建築学会大会 (2008. 8. 26-29) (東広島市)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

北野 博亮 (HIROAKI KITANO)
三重大学・大学院工学研究科・助教
研究者番号：80293801

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：