

透水性舗装の夏季温度上昇抑止ならびに騒音低下効果に関する研究

A study relate to summer temperature rise restraint and noise fall effect of the permeable pavement.

佐竹浩幸十 建部英博十十
Hiroyuki SATAKE Hidehiro TATEBE

Abstract: In late years heat island effect becomes a problem in an urban region. It means that temperature of an urban region rises with heat island effect. The permeable pavement can expect relaxation of this problem. The permeable pavement is pavement to let it reduce water to its elements underground. An effect of the permeable pavement is improvement of safety of a vehicle travel at the time of rainy weather and flooding prevention of a small river. In addition, it is possibility to restrain a temperature rise in the summer of pavement when the base course retains water with seeping water. The spread of permeable pavement leads to improvement of city environment. This study investigated permeable the pavement executed the work around Aichi Institute of Technology. Investigation contents are thermometry of the summer and the measurement of the car run noise. In addition, I performed the inspection that could use the plaster for base course. Inspection content is a CBR examination to examine a support power characteristic of the plaster base course. And I inspected a retain water preservation continuance effect in base course. I suggest improvement of permeable pavement by these investigation and inspection.

1. 序論

1.1 はじめに

近年、都市部が高温化するヒートアイランド現象が問題視されている。この現象の主な原因として都市緑化の減少、空調等のエネルギー生成熱、アスファルトの蓄熱・放射熱・反射熱などがある。舗装の分野からこの問題を緩和するために考え出されたのが透水性舗装である。この舗装は地下に水を涵養させる舗装である。そのため側溝などの工事不要となり、豪雨時の小河川の氾濫も防ぐことが出来る。また、路盤に水を保水させることによる路面温度の低下効果が期待できるため夏場のアスファルト舗装の蓄熱による温度上昇を和らげヒートアイランドを防ぐことも可能である。さらに自動車走行騒音の低減など様々な効果を持っており、都市化が進んだ地域には透水性舗装が普及することで都市環境の改善が期待される。

1.2 研究目的

本研究では愛知工業大学周辺に H.17 年に施工された透水性舗装を対象に夏季温度上昇の抑止効果、車両走行音の低減効果に関する調査を行い、実車道における透水性舗装の効果の検証を行った。

また、近年では環境問題に注目が集まっており、リサイクルに取り組むことの重要性が高まっている。本研究室でも建設廃材である廃石こうボードから生成される石こうのリサイクルに関する研究⁴⁾を進めている。その研究成果より石こうは保水性に優れているという特徴があり、この石こうを透水性舗装の新たな路盤材として使用可能か検討を行い保水効果の向上を目的とした。

2. 測定を行った各種舗装について

今回、測定した舗装は透水性舗装、排水性舗装、通常舗装の 3 種類の舗装を対象に夏季温度測定、自動車騒音測定を行った。それぞれの舗装の施工場所について図 1 に示す。

十 愛知工業大学大学院建設システム工学専攻
十十 愛知工業大学工学部都市環境学科（豊田市）



図 1 各種舗装の施工場所⁵⁾

2.1 透水性舗装について

今回測定した透水性舗装の構造図は図 2 である。この舗装は空隙の多い多孔質な表層材からなり、雨水は路盤・路床に浸透し地中に還元する構造となっている。この構造により、降雨の表面排水の抑制ができる。また、路盤に水を保水することにより水分が蒸発する際の気化熱を奪うことで舗装の温度低下効果が期待できる。問題点として、表層部の空隙が目詰まりが起こる。

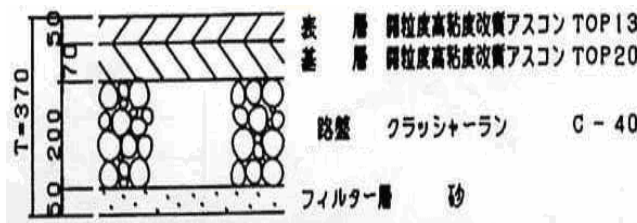


図 2 透水性舗装の構造図⁶⁾

2.2 排水性舗装について

図 3 に今回測定した排水性舗装の構造図を示す。排水性舗装は基層以下に水を浸透させない構造であり、表層の直下には不透水層を設け、路肩あるいは側溝に排水する舗装構造になっている。表層の空隙により雨天時の走行の安全性の向上、車両走行音の低減効果を期待できる。問題点としては透水性舗装と同様、表層部の目詰まりが挙げられる。

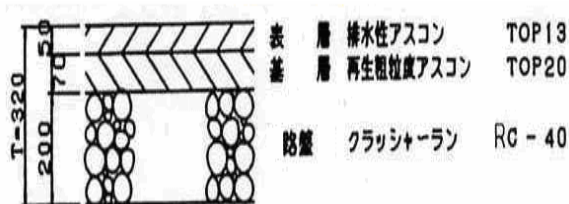


図 3 排水性舗装の構造図⁶⁾

2.3 各舗装の効果の相違

今回測定した通常、排水、透水性舗装の効果とその特徴⁷⁾について表 1 にまとめる。

透水性舗装は排水性舗装を一步進めた舗装であり自動車騒音の低減や雨天時の車両走行安全性の向上といった効果に加え、ヒートアイランド現象を抑制するといった環境の面にも配慮した舗装となっており様々な効果を期待することができる。しかしながら、透水性舗装や排水性舗装は表層の目詰まりなどが起こるため通常舗装に比べ舗装の耐久性やメンテナンスの問題を抱えている。

表 1 各種舗装の効果の相違点

	透水	排水	通常
排水施設の負担軽減、省略			
雨水流出の抑制			
ヒートアイランド現象の抑制			
表面排水の抑制			
車両走行騒音の低減			
雨天時の走行安全性			
舗装の耐久性			
維持管理の容易さ			

2.4 各舗装の現場透水試験

先の二つの舗装は表層の空隙が重要であり、目詰まりなどを起こすと浸透力が低下してしまう。そこで浸透能力の評価を行うため現場透水試験を行った。測定手順として試験器を舗装上に設置する。次に試験器に水を入れコックを開き 400ml 浸透するまでの時間を測定した。1 度測定が終了したら場所を変更し再度測定を行い、これを 3 回行った。その結果を表 2 に示す。表中の 400ml 通過時間は 3 回の測定の平均であり、浸透水量とは舗装が 15 秒間に浸透させる水量である。各種舗装の浸透水量の目安は 330ml/15s となっており、今回の透水試験の結果からも基準値を満たしており、浸透能力には問題がないと言える。

表 2 現場透水試験結果

	400ml 通過時間 (s)	浸透水量 (ml/15 s)
透水性舗装	9.8	615.0
排水性舗装	16.3	368.6

3. 車両走行騒音の測定

3.1 自動車騒音について

自動車騒音の発生要因は以下の 3 つに大別される。

駆動機関音 タイヤ路面音 空力音

の駆動機関音は、エンジン音、吸・排気系騒音等の自動車の移動に伴う機械音であり、タイヤ路面騒音はタイヤの回転に伴いタイヤと路面間で発生する騒音である。また、空力音は 以外の騒音である。

定常走行における騒音源の比率⁸⁾は表 3 のようになっており、エンジン系の音よりもタイヤと路面の騒音の割合が大きいいためこの音を低減させることが自動車騒音の低減に大きく影響する。

表 3 定常走行時(50km/h)の騒音源の割合

騒音源	乗用車	小型車	大型車
タイヤ	84.8%	60.7%	73.3%
エンジン系	15.2%	39.3%	26.7%

舗装による騒音低減は主にタイヤ路面騒音である。その仕組みは排水・透水性舗装の表層の空隙が大きい為、空気の逃げ道となりエアポンピング音を抑制する。雨天時も水溜りを発生させることがないので雨天時の水切り音を低減することができる。

エアポンピング音とはタイヤの溝と舗装面の間に挟まれた空気が圧縮され、その圧縮された空気が開放された時の膨張音のことをいう。

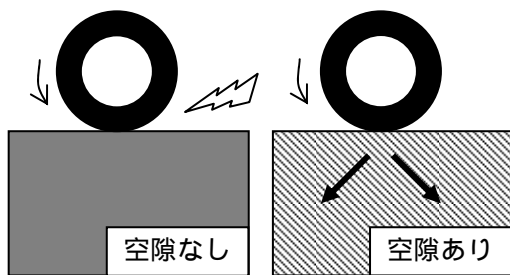


図 4 空隙による走行音の軽減

3.2 騒音測定概要

- 測定器は騒音計と 1/3 オクターブバンド分析器を使用。
- 騒音を測定し、周波数分析をした音圧レベルを測定する。
- 測定に使用した車は普通自動車。
- 一定距離内(20m)を走行時の騒音を測定。
- 走行はニュートラルで行う。
- 測定は通常・排水・透水性舗装で行う。
- 速度は 30、40km/h で測定。

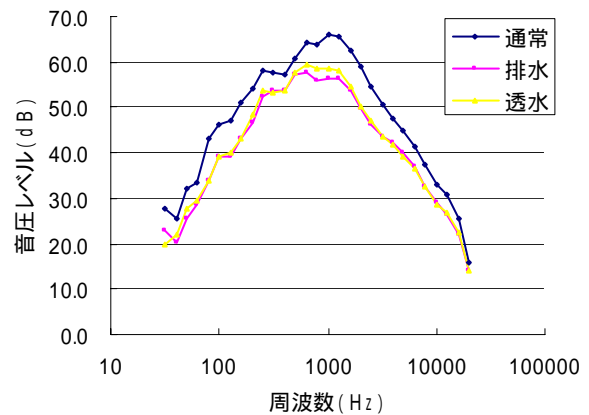
3.3 周波数分析について

音には普通多くの周波数成分が含まれており、周波数によって音の大きさは異なる。この成分周波数に分解するこ

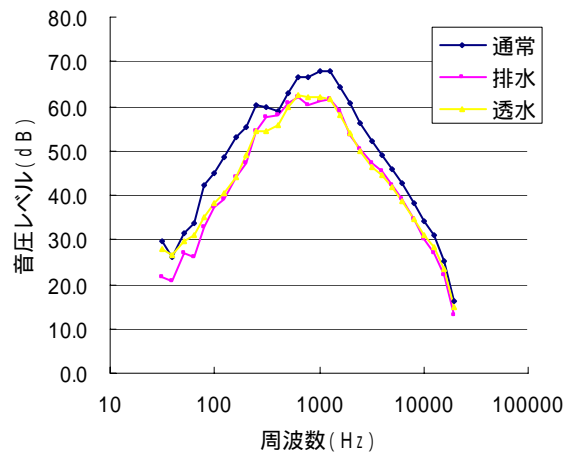
とを周波数分析という。分析の結果得られる周波数帯域ごとの音圧レベル(単位: dB)を測定した。

3.4 測定結果

各速度における測定結果を図 5 に示す。以下の測定結果は 5 回測定した結果の平均値である。



(a) 30km/h での比較



(b) 40km/h での比較

図 5 騒音測定結果

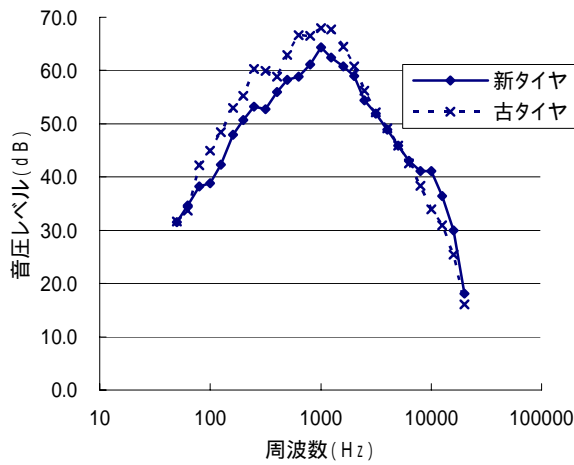
通常舗装と比較すると透水・排水性舗装の音圧レベルが低くなる結果となった。特に音圧レベルが最大となる 1000Hz 付近では約 8dB の差が見られた。このことから、透水・排水性舗装が自動車走行における路面とタイヤの騒音低減に効果があるといえる。

3.5 タイヤ変更後の測定

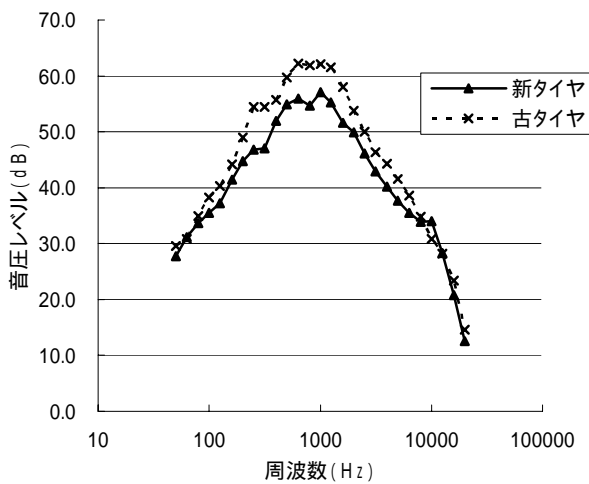
タイヤ新しくすることによる自動車騒音の変化を調査した。タイヤの状態を図 6 に示す。自動車の走行速度は 40km/h と一定で測定を行った。その結果を図 7 に示す。



図 6 タイヤ写真



(a) 通常舗装でのタイヤ比較



(b) 透水性舗装でのタイヤ比較

図 7 タイヤ変更による騒音測定結果

通常、透水性舗装ともにタイヤを新しくすることで走行騒音を低減する結果となった。特に透水性舗装では幅広い周波数帯で騒音を低減しており、音圧レベルが最大となる 1000Hz 付近の騒音低減効果も高いことから舗装の空隙

とタイヤの溝をしっかりと保つことで走行騒音を大幅に抑制することが可能といえる。

4. 夏季温度測定

4.1 測定概要

- ・ 舗装表面の温度測定に小型熱画像カメラを使用。
- ・ 測定はエリア平均モードを使用(約 150cm²の平均温度)。
- ・ 測定時間帯は 9 : 00 ~ 21 : 00。1 時間ごとに測定。

4.2 降雨後の測定

4.2.1 降雨量 8mm/day 後の測定

測定前日に 8mm/day の降雨があった。その後の路面温度の変化を調べるため 7/25 ~ 7/28 の 4 日間、路面温度の測定を行った。その結果を図 8 に示す。測定対象は通常舗装と透水性舗装である。なお、測定中の天候はすべて晴れであった。

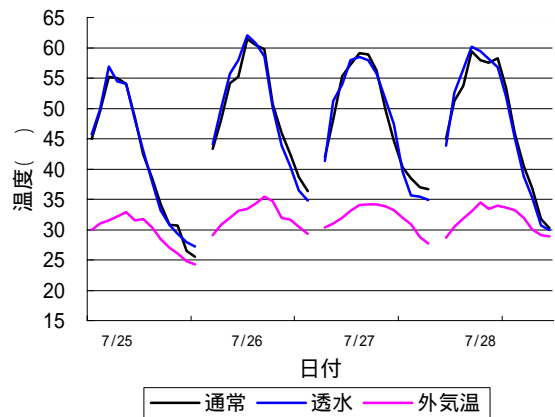


図 8 8mm/day 後の測定結果

図 8 より、2 つの舗装に大きな温度差は見られず、透水性舗装の温度上昇抑制効果を確認することができなかった。温度低下の効果が見られない要因として雨量の少なさが考えられる。8mm/day の雨量ではすぐに蒸発し路盤での保水ができないため表面温度に変化が見られなかったと考えられる。

4.2.2 降雨量 50mm/day 後の測定

9/1 の午前中に約 50mm の降雨があった。その後の路面温度の変化を調べるため 9/1 ~ 9/4 の 4 日間測定を行った。結果を図 9 に示す。なお、9/1 の午後には天候は晴れとなり日照もあったので測定を午後 2 時からとした。その後の測定中の天候は晴れである。測定対象は通常・排水・透水性舗装である。

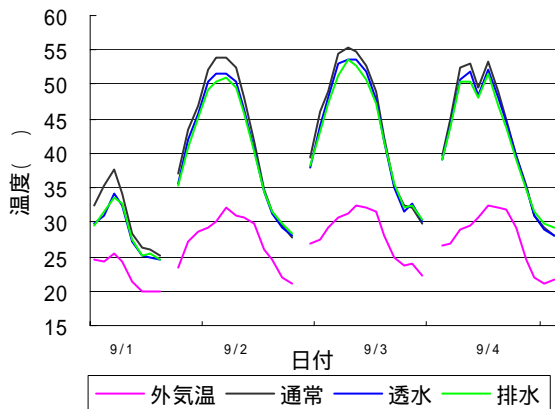


図9 50mm/day 後の測定結果

50mm/day 後の測定では降雨量が多かったため日中の表面温度に違いが見られた。通常舗装と比較すると、測定初日と2日目には日中で4℃、測定3日目には2℃、透水性舗装の温度が低い結果となった。しかし、4日目にはほとんど温度差が見られなかったことから、今回の測定した透水性舗装は温度低下効果が持続しないといえる。

また、排水性舗装と比較をすると温度差はほとんど無いことから透水性舗装の路盤内での保水がほとんどできていないため、透水性舗装が持つ温度低下効果が見られなかったと考えられる。

5. 石こうを用いた路盤の検証

5.1 測定に用いた舗装の路盤について

先の温度測定で透水性舗装の路盤での保水能力について指摘した。今回の測定地の舗装の路盤はC-40（クラッシャーラン）であった。一般的なC-40の粒径、透水係数空隙率¹²⁾は以下の通りである。このクラッシャーランの透水係数は比較的高いため透水能力に優れた分、保水力に関してはあまり高くないと考えられる。

表4 C-40の規格

粒度範囲 (mm)	40~0	ふるい目寸法 (mm)	通過質量百分率 (%)
透水係数 (cm/s)	3×10^{-3} ~ 4×10^{-2}	53	100
空隙率 (%)	6~18	37.5	95~100
		19	50~80
		4.75	15~40
		2.36	5~25

5.2 石こうについて

クラッシャーランに代わる路盤材料として石こうを使用した。石こうは廃材である廃石膏ボードから出るものであり石こうを使用することで廃石膏ボードのリサイクルに繋がる。また、石こうの特徴として吸水性に優れているため透水性舗装の路盤材として使用できるか検討を試みた。

5.3 使用材料の配合比

今回の石こう路盤の配合は以下の通りである。今回の検証に用いた石こうは廃石膏ボードを粉砕し3mmふるいを通過したものを使用した。また、石こうのみでは強度に不安があるのでセメントを添加材として使用した。それらに水を加えて混合した。また、混合物の水セメント比を抑えるために減水剤を使用した。その量はセメント 100kg に対し 250ml である。

表5 石こう路盤の重量配合比

石こう	セメント	水
50%	20.5%	29.5%

5.4 CBR 試験

石こうを用いた路盤の支持力特性を調べるため CBR 試験を行った。CBR 試験は直径 50mm の鋼製円柱貫入棒を 1mm/min の速度でモールド内供試体に貫入するように荷重をかける。CBR 値は 2.5mm の貫入時の荷重を標準荷重の百分率で表し求める。貫入量 2.5mm の標準荷重は 13.4 kN である。

モールドは直径 15cm、高さ 17.5cm の円柱形であり、供試体は 3 層で突固め回数を 17 回、42 回、92 回の 3 種類を作成した。

5.5 空中養生での CBR 試験結果

表 5 の配合比に従い混合し指定の突固め回数で供試体を作成したものを空中養生で 1、3、7、14、30 日養生し貫入試験を行い、CBR 値を求めた。供試体は各突固め回数につき 3 つ作成しその平均結果を図 10 に示す。

通常の CBR 試験では供試体作成後 4 日間水中に入れた後に貫入試験を行うが、今回は配合した石こう路盤が何日養生することで支持力が規定値を満たすかを調べるため上記の養生日数ごとに貫入試験を行った。その結果を図 10 に、7 日養生した供試体の乾燥密度を表 6 に示す。

表6 7日養生の平均乾燥密度

	17 回	42 回	92 回
平均乾燥密度 (g/cm ³)	1.480	1.473	1.542

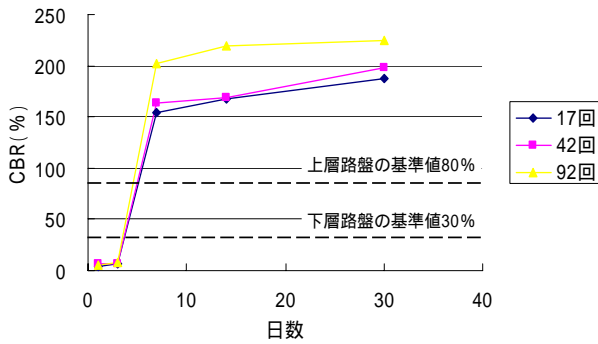


図 10 空中養生日数別の CBR 値

図 10 より 7 日養生で CBR 値が大幅に上昇し、その後は緩やかに上昇している。

CBR 値の規定値¹³⁾は上層路盤が 80%、下層路盤は 30% である。今回の配合比による石こう路盤は 7 日養生でこの基準値を満たす結果となった。基準値を満たした 7 日養生の乾燥密度を調べた結果、突固め回数が 92 回となると乾燥密度も高くなっており CBR 値も高くなっている。この結果より、締固め方法によって長期養生後の CBR 値に変化が生じることとなる。

5.6 湿潤養生

透水性舗装の路盤とした場合、雨水が浸透するため水を保水した際の強度変化を調べる必要がある。そこで空中養生 7 日で上層路盤の基準値を満たしたことから、実際に雨水が浸透したと想定し、7 日空中養生後、水中に入れ 1、3、7、14、30 日養生し CBR 値の変化を調べた。その結果を図 11 に示す。

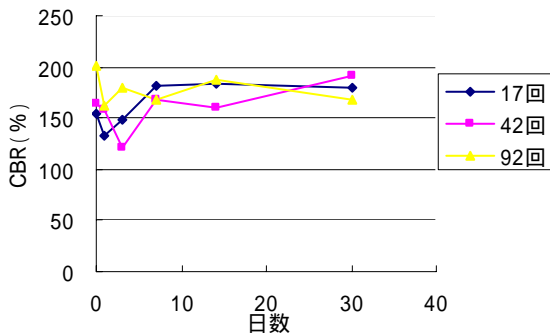


図 11 湿潤養生日数別の CBR 試験結果

図 11 より水が浸透することで支持力の低下が見られる。支持力の低下は水中に入れてから 1、3 日まで続き、その後は一定の支持力を保ったままの状態を維持している。この結果より、ある程度の支持力を得るまで空中養生することで、その後水が浸透しても一時的に強度は低下するが上

層路盤の基準値を下回ることなく十分に適用できるといえる。

5.7 石こうクラッシャーランの修正 CBR 試験

先の養生日別の CBR 試験は表 5 の配合比に従い混合したものであるが、使用した石こうの粒径は 3mm 以下であるため空隙があまりなく透水性に問題がある。

実際の透水性舗装の路盤に使われているのはクラッシャーランである。そこで、空中養生 7 日後の混合物を砕石状にし、クラッシャーランとして利用可能か検討した。石こうクラッシャーランの粒度範囲は表 4 に示した C-40 と同じとした。

5.7.1 石こうクラッシャーランの最適含水比

突固め回数 3 層 92 回における最適含水比を求めた。その結果を図 12 に示す。

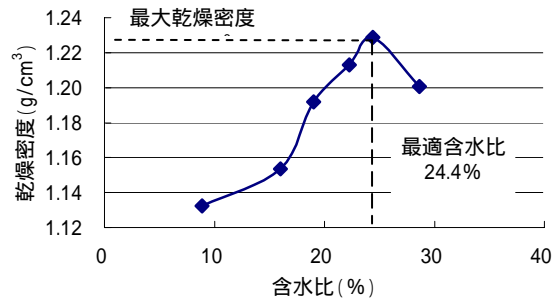


図 12 石こうクラッシャーランの最適含水比

図 12 より最適含水比は 24.4% となった。この含水比を基に水量を加え CBR 試験用の供試体を作成した。

5.7.2 修正 CBR の算出

修正 CBR を求めるため突き固め回数 3 層 17 回、42 回、92 回の供試体を各種 3 個作成した後に乾燥密度を求め、水中に 4 日間入れ CBR 試験を行った。その結果を表 7 に示す。

その結果より所要の締固め度に対応する最大乾燥密度から修正 CBR を求めた。路盤における締固め度は 95% であり、これをもとに修正 CBR を求めた結果を図 13 に示す。

表 7 修正 CBR 試験の結果

	CBR 平均 (%)	乾燥密度 (g/cm ³)
17 回	34.1	1.093
42 回	69.7	1.184
92 回	102.6	1.233

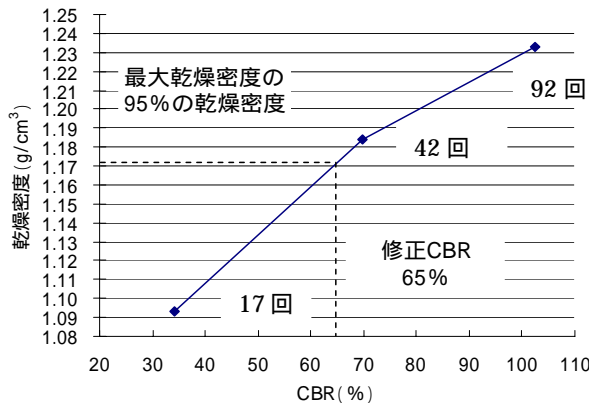


図 13 CBR - 乾燥密度関係図

図 13 から、石こうクラッシャーランの修正 CBR は 65% となった。この結果より石こうクラッシャーラン路盤は下層路盤の基準値である 30% は満たしているが上層路盤に対してはその基準値を満たしていないため、先ほどの石こう路盤に比べ支持力に対しての不安が残る結果となった。

5・8 保水能力の検証

透水性舗装における路盤の保水は路面温度の低下に深く関係する。そこで、石こう路盤、石こうクラッシャーランの保水能力の検証を行った。

まず、石こうクラッシャーランの吸水率を測定し、その後、保水した状態を何日間保つことが出来るのかを計測した。石こうクラッシャーランの他に比較のため一般的な砕石でも測定を行った。

5・8・1 石こうクラッシャーランの吸水率

配合した石こう材料を骨材とした場合の吸水率を測定した。測定は水温 20℃ 一定に保った水槽に試料を 1 日入れた後、表面の水気を軽くふき取り表乾質量を測定する。その後、乾燥させその質量を測る。質量は 0.1 g まで測定し、測定は 4 回行った。測定結果より吸水率を算出し、その結果を表 8 に示す。なお、使用した材料の骨材粒径は 25mm ~ 10mm までの範囲で測定を行った。

表 8 吸水率の測定結果

	石こうクラッシャーラン	砕石
吸水率 (%)	42.7	0.7

石こうクラッシャーランと一般的な砕石の吸水率を比較すると、一般的な砕石の吸水率が 1% 未満に対し、石こうの吸水率は 40% と非常に高い結果となった。この材料を路盤に適用することが可能であれば雨水が浸透した際、

一般的な砕石では骨材間の空隙での保水のみであるが石こうクラッシャーランであれば空隙に加え骨材での水の吸収が可能になるため保水量が増すことになり、保水能力の向上に繋がるといえる。

5・8・2 保水能力の評価

石こう路盤、石こうクラッシャーラン路盤、砕石路盤の保水力の検証を行った。検証方法は CBR 試験で用いた各供試体内に水を浸透させたものを、35℃ に保てる乾燥室に入れ経過日数ごとに質量を測定し保水力の持続を調べた。水の浸透方法は各供試体を 1 度、乾燥状態にした後に 1 日水中に浸けた。その結果を図 14 に示す。なお、図中の結果に示した供試体はすべて突固め回数 3 層 42 回のものである。また、この供試体を用い透水試験を行った結果を表 9 に示す。なお、石こう路盤については先にも触れたように表面が緻密ゆえ浸透能力に問題があるため省略した。

表 9 各種路盤の浸透水量

	浸透水量(ml/15s)
石こうクラッシャーラン路盤	348.8
砕石路盤	317.5

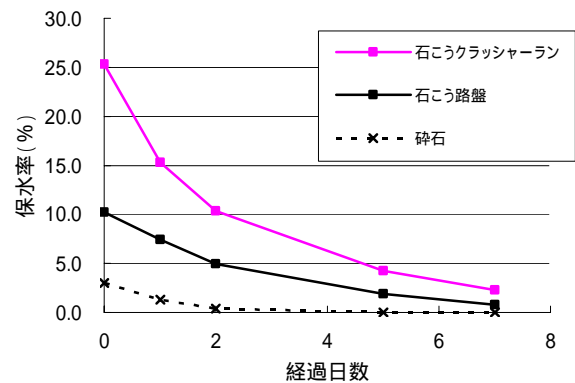


図 14 経過日数における保水率の変化

測定結果から石こうを用いた路盤の保水率が一般的な砕石を用いた路盤よりも非常に高いことがわかる。また、砕石路盤が 2 日でほぼ保水していない状態になったが石こう路盤・石こうクラッシャーラン路盤は 5 日になっても保水していることから路盤に石こうを用いることで保水効果を持続させることが可能である。これは石こうの吸水率が高いことが大きな要因となっており、一般的な砕石は吸水率が低く余分な水は排出されてしまい保水は骨材間の空隙でしかできないため、測定直後の 0 日ですでに保水率が大きく違い、その後の保水の持続にも影響がでたと考えられる。

6. 結論

< 調査結果のまとめ >

透水性舗装は通常舗装に比べ車両走行騒音を低減させることができる。さらに、タイヤが新しくなることでエアポンピング音をより低下させることができ、走行騒音を大幅に抑制することが可能である。

今回測定した透水性舗装のように路盤にクラッシャーランを用いた場合、路盤内での保水が不十分であると考えられる。そのため路面の温度低下があまり見られず、ヒートアイランド現象の抑制も期待できない。

< 石こうを用いた路盤のまとめ >

今回の配合比で混合した石こう路盤は 7 日養生することで、上層路盤の規定値を満たす。また、水中に入れることで支持力は低下するが規定値を下回ることがないので上層路盤としての適用が可能であると考えられる。

石こうクラッシャーラン路盤は修正 CBR65%と下層路盤への適用はできるが上層路盤には CBR 値が足りず適用不可であった。しかし、浸透能力・保水力に関しては優れた結果を得ることができた。

石こうを用いることで保水能力を向上させることができるので透水性舗装の路盤に使用することで路面温度を低下させヒートアイランド現象の抑制を期待できると考えられる。なおかつ、石こうは廃材であり路盤材として適用することで大量にリサイクル活用することが可能である。

石こうを用いた路盤については支持力、保水効果について検討を行ってきた。今後はさらに水が浸透した際の pH 値の変化などの環境影響に対する検討を加える必要がある。

参考文献

1) 岩井茂雄：舗装と熱環境，舗装，9 Vol.36，pp4-10，

2001.

- 2) 建部英博，大根義男，大谷大三：車道を対象とした透水性舗装の可能性，舗装，Vol.31，pp27-32，1996.
- 3) 大川秀雄，帆苅浩三：透水性舗装の熱的特性，舗装，9 Vol.36，pp11-15.
- 4) 朝日涼太・杉本将：廃石膏ボードのリサイクルに関する研究，愛知工業大学 工学部都市環境学科 道路研究室論文，2005.
- 5) Yahoo! 地図情報，<http://map.yahoo.co.jp/>
- 6) (株)NIPPO コーポレーション・東名開発(株)豊田合材センター：アスファルト混合物配合設計書，2004.
- 7) 水と舗装を考える会編：よくわかる透水性舗装，p45，山海堂，東京，1997.
- 8) 低騒音舗装研究会編：低騒音舗装の概説，pp3-61，建設物価調査会，東京，2005
- 9) 村山雅人，岩垣勉，井上武美：排水性舗装の路面テクスチャとタイヤ/路面騒音についての検討，舗装，2 Vol.39，pp3-8，2004.
- 10) (社)計量管理協会編：騒音と振動の計測，pp136-141，コロナ社，東京，1986.
- 11) 遠山健治・佐竹浩幸：透水性および排水性舗装における夏季舗装表面温度上昇抑止ならびに車両騒音軽減に関する研究，愛知工業大学 工学部都市環境学科 道路研究室論文，2004.
- 12) 社団法人 日本道路建設業協会編：透水性舗装ハンドブック，p5-63，山海堂，東京，1979.
- 13) アスファルト舗装要綱，pp56-57，社団法人 日本道路協会，東京，1994
- 14) 川島義昭，坂田耕一，川野敏行：道路舗装に関する試験法，pp73-124，山海堂，東京，1982.
- 15) 高橋友美：環境を考慮した透水性舗装に関する研究，愛知工業大学大学院 工学研究科 道路研究室修士論文，2003.

(受理 平成19年3月19日)