

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 元年 6 月 6 日現在

機関番号：34419

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06451

研究課題名(和文) 碍子粉を活用した路面温度低減型舗装の疲労耐久性の研究

研究課題名(英文) Fatigue durability of surface-temperature reducing pavement utilizing ceramic waste powder

研究代表者

東山 浩士 (HIGASHIYAMA, Hiroshi)

近畿大学・理工学部・教授

研究者番号：60319754

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,400,000円

研究成果の概要(和文)：これまで電力関連から廃棄されたきた碍子のリサイクル過程で回収される碍子粉の有効利用と歩車道周辺の熱環境の改善に向けた路面温度低減型舗装の開発を行ってきた。一方、昨今の公共事業における財源不足や労働力確保などの問題から、アスファルト舗装の長寿命化が望まれている。

本研究では、アスファルト舗装の長寿命化を図るため、この路面温度低減型舗装の疲労耐久性を実験的に検討することを目的とした。その結果、夏季および春季・秋季を想定した温度環境下における定点疲労試験、ねじり抵抗性試験から、ポーラスアスファルト舗装に比べ、路面温度低減型舗装はいずれの試験においても疲労耐久性を大幅に向上できることを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

公共事業における財源不足や労働力確保などの問題点を踏まえ、社会インフラの長寿命化に関する研究が進められている。本研究では、特殊な注入材をポーラスアスファルト舗装の空隙に充填することにより、夏季における路面温度の低減機能のみならず、わだち掘れや骨材飛散といったアスファルト舗装の損傷問題が解決でき、長寿命化が期待できる特殊舗装の開発とその検証を行うことができた。加えて、本注入材には電力関連の産業廃棄物として廃棄されてきた絶縁体(碍子)の粉体を使用しており、産業廃棄物の有効活用にも貢献できたとと言える。

研究成果の概要(英文)： Surface-temperature reducing pavements utilizing ceramic waste powder recovered in recycling processes of ceramic waste porcelain insulators have been developed to improve the thermal environment around road and walkway. On the other hand, it is desirable to extend the life of asphalt pavements due to problems such as lack of financial resources and securing of labors in recent public works.

The aim of this study is to experimentally investigate on the fatigue durability of the surface-temperature reducing pavements in order to extend the life of asphalt pavements. As a result, from the fixed-point fatigue tests under the temperature environment supposing summer and spring and fall seasons, and the torsional resistance tests, the surface-temperature reducing pavements can improve the fatigue durability significantly in each test when compared with the porous asphalt pavements.

研究分野：土木構造・材料分野

キーワード：路面温度低減型舗装 碍子粉 疲労耐久性 水浸定点疲労試験 ねじり試験

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

アスファルト舗装やコンクリートに覆われた都市部におけるヒートアイランド現象や夏季における猛暑日の増加による社会生活の環境悪化が国内外で社会的問題となってきた。また、2020年には東京オリンピックが開催されることとなり、猛暑のなかでのマラソン競技が行われる。一方、本申請者は電力関連から廃棄されていた絶縁体である碍子（図1）のリサイクル化による碍子片の建設用骨材としての利用価値を見出してきた¹⁾。しかし、このリサイクル過程における碍子の破碎・研磨時に集塵機により回収される碍子粉が約20%排出される。この碍子粉の利用用途を検討することにより、使用済み碍子のリサイクルからその活用までの達成が100%に至る。

上記2つの課題から、アスファルト舗装の路面温度を低減する注入材として碍子粉を活用することに着眼した。具体的には、碍子粉、セメント、天然ゼオライト、あるいはフライアッシュを混練したミルク状の注入材をポーラスアスファルト舗装の空隙内に充填する手法である²⁾。これまでの研究成果から、夏季におけるアスファルト舗装（PoAs）の路面温度が60℃に達した時、本申請者の研究グループが開発した路面温度低減型舗装では、15～20℃の低減効果（図2）を確認してきた³⁾。この温度低減は、これまでの保水性舗装や遮熱性舗装など^{4)~6)}に比べても優れた温度低減効果を発揮し、都市部におけるヒートアイランド現象や夏季における歩車道周辺の熱環境改善に寄与できるものと考えられる。しかし、これまでの研究成果³⁾から、保水性舗装としての性能（流動性、強度、保水性）を満足することは確認できているものの、舗装体としての荷重作用に対する疲労耐久性については評価できていなかった。

また、昨今の公共事業における財政不足や労働力確保などの問題点を鑑みると、アスファルト舗装の長寿命化が望まれる。このような観点から、この路面温度低減型舗装の疲労耐久性を評価することにより、アスファルト舗装の長寿命化と維持修繕における計画的なマネジメントに寄与するデータを収集しておくことが重要であるとの考えに至った。



図1 懸垂碍子

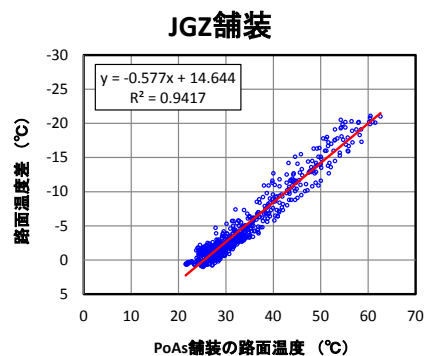


図2 路面温度の低減効果

2. 研究の目的

電力関連から廃棄されている碍子のリサイクル過程で回収・排出される碍子粉の有効利用と歩車道周辺の熱環境の改善に向け、路面温度低減型舗装の開発に取り組んできた。これらの研究をさらに発展させ、路面温度低減型舗装の適用による通常のアスファルト舗装の打換え時期の延命化を期待し、疲労耐久性の評価を行うため、以下の2つを研究目的とした。

- ① 路面温度低減型舗装の水浸定点疲労試験の実施と疲労耐久性の評価
- ② 路面温度低減型舗装のねじり疲労試験の実施と骨材飛散抵抗性の評価

3. 研究の方法

(1) 水浸定点疲労試験による路面温度低減型舗装の変形挙動と疲労耐久性評価

これまでの研究成果³⁾から、夏季におけるアスファルト舗装の路面温度が60℃に達した時、15～20℃の温度低減効果を得ることができている路面温度低減型舗装の注入材の配合を確立してきた。この注入材を構成する材料は、超速硬セメント、碍子粉、天然ゼオライトである。路面温度低減効果を有する注入材を650×650×100mm（基層50mm、表層50mm）の寸法を有する試験体であるポーラスアスファルト舗装（空隙率23%程度）の表層の空隙に充填する（図3）。なお、本研究では、路面温度低減型舗装を構築する上での経済性を考慮して、アスファルト乳剤にはストレートアスファルト60/80を使用した。ここで、注入材を充填した試験体をJGZ試験体、ポーラスアスファルト試験体をPoAs試験体と称する。本研究では、より過酷な状況を模擬するため、基層には厚さ50mmの硬質ゴムを採用した（図4）。ここで、試験体寸法は通常のホイールトラッキング試験に供される試験体の約2倍の平面積に相当する。これは、油圧サーボ疲労試験機を使用すること、また、載荷面積を道路橋示方書の設計輪荷重接地面積（500mm×200mm）の相似形（150mm×60mm）として接地圧を設計相当とすることで、実状に近い状態での疲労耐久性試験を実施するためである。このような試験方法（図5）による

アスファルト舗装の疲労耐久性評価としてはこれまでの研究成果^{7,8)}から実証済である。

本疲労試験では、注入材未注入のポーラスアスファルト舗装との疲労耐久性を比較する。また、夏季および春季・秋季の環境を想定して、水浸疲労試験中の温水設定温度は、40℃および30℃とし、載荷荷重は、道路橋示方書の接地圧 1N/mm²に相当する荷重を基準として、S-N 曲線を得ることができるだけの水準を設定した。これら各水準において、試験体 1 体を準備することとし、合計 6 体の試験体を作製した。これにより、疲労耐久性を定量的に評価することができる。ただし、試験体の疲労破壊は、既往の研究³⁾から変形挙動の変曲点、あるいはわだち掘れ深さの制限値 (15mm~20mm) をもって定義することにした。

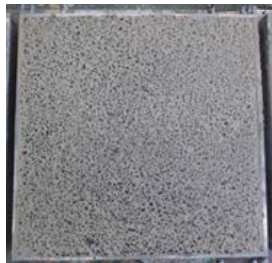


図3 注入材充填状況



図4 硬質ゴムの設置



図5 載荷試験状況

(2) ねじり疲労試験による路面温度低減型舗装の骨材飛散抵抗性評価

注入材は上記と同様とし、ポーラスアスファルト舗装 (空隙率 23%程度) の空隙に充填した 300×300×50mm の試験体を使用する。この試験体寸法は試験機の制約から通常のホイールトラック試験に供される試験体と同様である (図6および図7)。

ねじり疲労試験中の周辺環境温度は、夏季におけるアスファルト舗装体中央における平均温度である 30℃と標準試験温度である 50℃の 2 水準とし、各試験の試験体は 3 体 (合計 12 体) とした。舗装性能評価法 (別冊)⁹⁾に従い、ねじり試験機 (タイヤ回転タイプ B 装置) による荷重 490N を 120 分間作用させるねじり疲労試験 (図8) を実施し、試験中の各繰返し回数 (30 分間隔) において、試験体の質量 (骨材飛散率) および外観観察を行った。これにより、ポーラスアスファルト舗装と路面温度低減型舗装の骨材飛散抵抗性を相対的に比較することができる。



図6 PoAs 試験体



図7 JGZ 試験体



図8 ねじり試験状況

4. 研究成果

(1) 水浸定点疲労試験による路面温度低減型舗装の変形挙動と疲労耐久性評価

各試験体の接地圧を表1に示す。また、疲労試験開始時における注入材の圧縮強度を図9に示す。本試験では、注入材の圧縮強度発現が安定してから開始することにし、15N/mm²程度の圧縮強度の発現が確認できた。図10に接地圧と載荷点における載荷板の沈下量が 15mm に達したときの繰返し回数の関係を示す。JGZ 試験体は接地圧 1.2N/mm²以下において繰返し回数 300 万回に至っても沈下量 15mm に達しなかったことから、接地圧 2.0N/mm²以上のデータを用いて S-N 曲線を求めた。PoAs 試験体および JGZ 試験体ともに、ばらつきは少なく、精

表1 接地圧

PoAs	Contact pressure (N/mm ²)	JGZ	Contact pressure (N/mm ²)
PoAs30-1	1.00	JGZ30-1	2.4
PoAs30-2	0.80	JGZ30-2	2.2
PoAs30-3	0.60	JGZ30-3	2.0
PoAs30-4	0.50	JGZ30-4	1.2
PoAs30-5	0.40	JGZ30-5	1.0

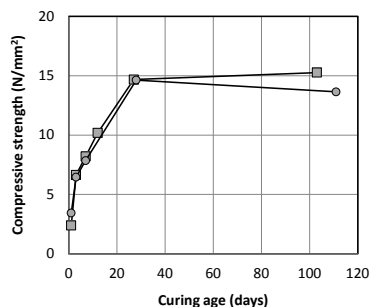


図9 圧縮強度

度の高い S-N 曲線が得られている。また、PoAs 試験体はいずれの温度環境下においても早期に沈下量 15mm に至っているのに対して、JGZ 試験体のわだち掘れに対する疲労寿命は大幅に向上することが明らかとなった。これらの結果から、夏季、春季および秋季におけるアスファルト舗装のわだち掘れに対する寿命予測が可能であると考えられる。沈下量 15mm および 20mm に対する各試験体の S-N 曲線式を表 2 にまとめる。

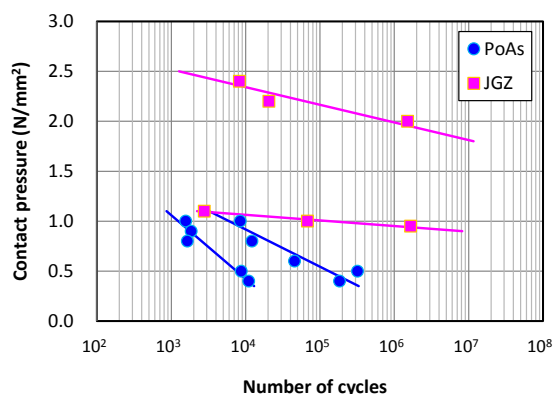


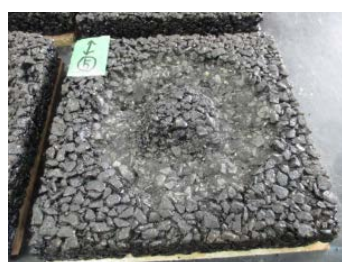
図 10 沈下量 15mm に対する接地圧と繰返し回数

表 2 各試験体の S-N 曲線式

Pavement	Test condition (°C)	Rutting depth (mm)	S-N curve
JGZ	30	15	$\log N = -5.660\sigma + 17.254$
		20	$\log N = -5.403\sigma + 16.760$
	40	15	$\log N = -17.844\sigma + 22.974$
		20	$\log N = -20.532\sigma + 25.997$
PoAs	30	15	$\log N = -2.681\sigma + 6.458$
		20	$\log N = -2.537\sigma + 6.471$
	40	20	$\log N = -1.590\sigma + 4.807$

(2) ねじり疲労試験による路面温度低減型舗装の骨材飛散抵抗性評価

120 分間載荷後、あるいは測定不能となったときの各試験体の破壊状況を図 11 および図 12 に示す。PoAs 試験体では、アスファルト合材が飛散し、特に、50°C 環境下においてはホイールの回転範囲内のすべてのアスファルト合材が消失しているのが分かる。一方、JGZ 試験体では、ホイールの回転範囲内における試験体表面の注入材が摩耗したのみであり、いずれの試験温度においても骨材の飛散は見られなかった。



(a) 30°C 環境下



(a) 30°C 環境下



(b) 50°C 環境下



(b) 50°C 環境下

図 11 PoAs 試験体

図 12 JGZ 試験体

次に、試験開始後、30 分間隔に試験体の質量を測定し、試験開始前の試験体の質量との差分から骨材飛散率を求めた結果を図 13 に示す。PoAs 試験体は、50°C 環境下において試験開始 30 分後に排水性舗装の規定値である骨材飛散率 20% を越えている。また、30°C 環境下では 120 分後に 10% であった。このことから、骨材飛散抵抗性は周辺温度の影響を大きく受けることが分かる。一方、JGZ 試験体はいずれの温度環境下においても骨材飛散は見られず、骨材飛散率は 0.1% 程度と非常に小さかった。上述したように、この値はホイールの回転範囲内における試験体表面の注入材が摩耗した影響であり、PoAs 試験体と比べると、骨材飛散抵抗性の大幅な向上であると言える。本試験方法では、骨材飛散抵抗性について定性的な評価しかできていないが、道路交差点に JGZ 舗装を適用することにより、大型自動車などが右左折する過酷な道路環境においてアスファルト舗装の延命化が期待できることを示唆したと考える。

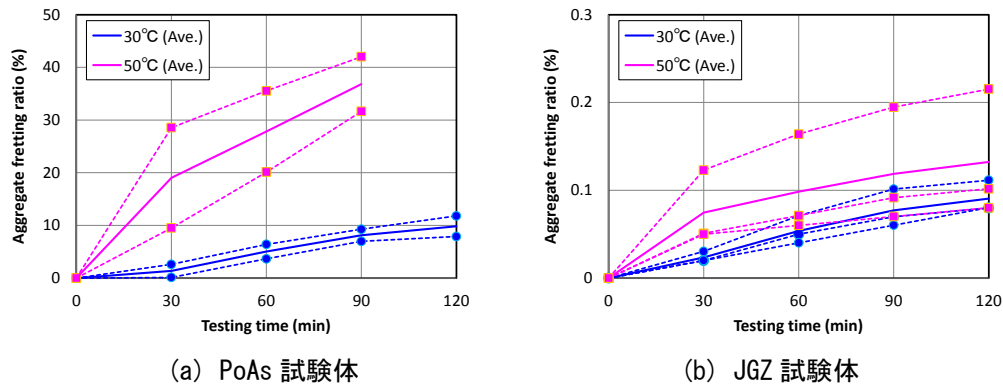


図 13 骨材飛散率

<引用文献>

- 1) H. Higashiyama, et al.: Characteristics of chloride ingress into mortars containing ceramic waste aggregate, *Journal of Material Cycles and Waste Management*, Vol.17, No.3, pp.513-521, 2015.7.
- 2) 東山浩士ほか：碍子微粉末および石炭灰を有効利用した吸水・半たわみ型アスファルト舗装の検討とその路面温度低減効果, *舗装*, Vol. 49, No.9, pp.18-23, 2014.9.
- 3) 稲岡尚毅ほか：路面温度低減機能を有する吸水型アスファルト舗装の開発, 第 31 回日本道路会議, 3042, 2015.10.
- 4) 代表者 辻 正哲：吸水・放水機能を有する舗装を用いた都市部の温暖化防止方法の開発に関する研究, 一般研究(C), 1991 年度～1992 年度, 研究課題番号 03805039
- 5) 代表者 石黒 覚：地域資源を活用したヒートアイランド現象抑制型舗装の研究, 基盤研究(C), 2011 年度～2013 年度, 研究課題番号 23580329
- 6) M. Santamouris: Using cool pavements as a mitigation strategy to fight urban heat island –A review of the actual developments, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol.26, pp.224-240, 2013.
- 7) 東山浩士ほか：ポーラスアスファルト舗装に生じるポットホールに対する補修材の開発および試験方法の提案, 近畿大学工学部研究報告, 第 50 号, pp.1-6, 2014.10.
- 8) 東山浩士ほか：水浸定点疲労試験によるポットホール補修材料の疲労耐久性評価とその適用性に関する検討, *舗装*, 建設図書, Vol.50, No.7, pp.25-30, 2015.7.
- 9) 日本道路協会：舗装性能評価法 別冊, 2008.3.

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 2 件)

- (1) H. Higashiyama, H. Inoue, and M. Sappakittipakorn: Fatigue and aggregate fretting resistance of surface-temperature reducing pavement, *International Journal of GEOMATE*, 査読有, Vol.15, Issue 52, pp.222-229, 2018, <http://doi.org/10.21660/2018.52.96300>
- (2) H. Higashiyama and M. Sano: Fatigue resistance of surface temperature reducing pavement under fixed point load, *International Journal of GEOMATE*, 査読有, Vol.13, Issue 35, pp.166-173, 2017, <http://dx.doi.org/10.21660/2017.35.78775>

[学会発表] (計 0 件)

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等

近畿大学工学部社会環境工学科複合構造学研究室ホームページ

<http://cse-lab.sakura.ne.jp/index.html>

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。