

ケナフ繊維を用いたアスファルト舗装の機能性ならびに環境負荷の評価

木村 清和¹・石田 桂子²・渡邊 祥庸²・田口 仁³・青井 透⁴

¹正会員 工博 群馬工業高等専門学校准教授 環境都市工学科 (〒371-8530 群馬県前橋市鳥羽町580)
E-mail: kkimura@cvtl.gunma-ct.ac.jp

²非会員 群馬工業高等専門学校専攻科 環境工学専攻 (〒371-8530 群馬県前橋市鳥羽町580)

³正会員 工博 福田道路株式会社 技術研究所 (〒959-0415 新潟県西蒲原郡西川町大潟2031)

⁴正会員 工博 群馬工業高等専門学校教授 環境都市工学科 (〒371-8530 群馬県前橋市鳥羽町580)

ケナフ繊維を混入したアスファルト供試体でWT試験, GB反発試験, SB反発試験およびラベリング試験を実施し, ケナフ繊維混入アスファルト混合物の耐流動性, 衝撃吸収性, 耐摩耗性の評価を行なった. また, 道路部門のCO₂排出量は土木事業の1/4を占めており, 環境面から道路舗装を評価することも重要となっている. そこで, ケナフ繊維を用いた際のCO₂排出削減率についての評価も行なった.

各室内試験の結果, ケナフ繊維混入アスファルト混合物はストレートアスファルト混合物と比べ, わだち掘れに対する抵抗や衝撃吸収性に優れていた. 更に, CO₂排出量はストレートアスファルト混合物に比べ最大26.3%削減できることがわかった.

Key Words : Asphalt Mixture, Kenaf Fiber, Carbon-Dioxide Emissions, Rutting

1. はじめに

ケナフは様々な工業的用途の繊維源またはCO₂吸着の基材として関心を集めている¹⁾. 現段階では紙製品, 動物の飼料や敷き藁, 各種ボードやフィルター, 包装用材料などに使用されている²⁾. 近年ケナフの栽培量の増加に伴い, その使用に新しい市場が必要とされてきた³⁾. そこで本研究では, アスファルト舗装にケナフ繊維を混入し, その効果を検証する.

地球温暖化をはじめ様々な環境問題が顕在化中, 各産業で環境負荷低減が課題となっている. 道路部門のCO₂排出量は土木事業1/4を占めており⁴⁾, 舗装施工時におけるCO₂排出量削減や供用期間の長期化が重要となっている.

従来の道路舗装における環境負荷低減対策には, 再生骨材を用いるリサイクルの方法や常温アスファルト混合物や中温化アスファルト混合物を使用し施工段階のCO₂排出量を削減する方法が挙げられる. しかし, これらの方法は環境負荷低減のみを目的としたもので, 舗装の機能性を向上させるものではない. アスファルト舗装の機能性を向上させたものとしては, 改質アスファルト混合物があるが, ストレートアスファルト混合物と比べCO₂排出量が増え環境負荷が大きくなる.

一方, 繊維質補強材がアスファルト混合物の耐流動性と耐摩耗性を改善するのは周知である. よって, ケナフ繊維をアスファルト舗装に混入することで機能性の向上と環境負荷低減を同時に期待できる. 本研究ではケナフ繊維混入アスファルト舗装を機能性と環境負荷の両面から評価する.

機能性の評価項目として耐流動性の評価にWT試験, 耐摩耗性の評価にラベリング試験, 衝撃吸収性の評価に

表-1 供試体概要

ケナフなし	標準	密粒(13)ストアス
	比較	密粒(13)改質Ⅱ
ケナフあり	繊維混入	繊維長5.10.15.20mm, 混入率0.2.0.3%
	メッシュ挿入	メッシュ間隔3.5.7mm

表-2 機能性の評価手法

評価項目	条件およびパラメータ
耐流動試験 (WT試験)	圧密変形量, 骨材移動量 断面写真解析
衝撃吸収性 (GB反発試験・SB反発試験)	GB反発係数, SB反発係数
耐摩耗性 (ラベリング試験)	往復型クロスチェンラベリング試験 摩耗幅, 磨耗深さ

表-3 環境性能の評価手法

評価項目	条件およびパラメータ
CO ₂ 原単位	ケナフあり 繊維混入 繊維長5.10.15.20mm, 混入率0.2.0.3% メッシュ挿入 繊維長5.10.15.20mm, 混入率0.2.0.3% メッシュ間隔3mm
	考え方 ケナフ繊維として炭素がアスファルト中に固定される

GB反発試験, SB反発試験を実施した。環境負荷の評価法としては, ケナフ繊維の元素分析によりケナフ繊維混入アスファルト混合物(以下, ケナフ混入アスファルト)のCO₂排出削減率を算出した。本研究の概要を表-1, 表-2, 表-3にまとめる。

2. ケナフとは

ケナフとは写真-1に示すアオイ科フヨウ属の1年生植物で学名は*Hibiscus cannabinus* L, 原産地は西アフリカである。4~6ヶ月で3~4mの高さに成長し, 1haの面積から木材に比べて3~5倍となる8~25tの重量が得られる⁵⁾。また, ケナフのCO₂吸収速度はヤブツバキ等の陰樹の4倍, イチョウやクスギ等の樹木の2倍強であり⁶⁾, 地球温暖化防止に役立つと注目されている。

ケナフの茎の断面は図-1のように靱皮部, 木質部, 全茎部からなる。本研究では靱皮部から取れる靱皮繊維を



写真-1 ケナフ

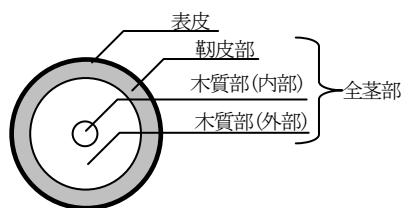


図-1 ケナフ茎断面

表-4 アスファルト混合物の配合

	5号	6号	7号	粗砂	細砂	石粉	合計	AS
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
密粒(13)	0	34	24	33	4	5	100	5.6
粗粒(20)	30	20	23	17	5	5	100	4.8

表-5 各供試体のケナフ繊維長および混入率

供試体No.	1	2	3	4	5
繊維長(mm)	5	5	10	10	15
混入率(%)	0.2	0.3	0.2	0.3	0.2
供試体No.	6	7	8	9	10
繊維長(mm)	15	20	20	—	—
混入率(%)	0.3	0.2	0.3	ストアス	改質

用いる。ケナフには容易に靱皮部を分離できるという長所がある⁷⁾。靱皮部はケナフの茎の約30%を占め, 針葉樹に似た長い繊維が得られる⁸⁾。更に, 靱皮繊維は一般的な針葉樹の繊維の3倍以上となる約500MPaの引張強度を有する。

3. 機能性の評価

(1) 供試体

アスファルト混合物は, 表層に密粒度アスファルト混合物(13)を基準にケナフ繊維を混入し, 基層に粗粒度アスファルト混合物(20)を用いた。両者の配合を表-4に示す。

各実験で, ケナフ繊維長と混入率を変化させた10パターンの供試体を作成した。供試体作成パターンを表-5に示す。実験に用いたケナフ繊維を写真-2に示す。供試体No.9およびNo.10は比較用のストレートアスファルト混



写真-2 ケナフ繊維

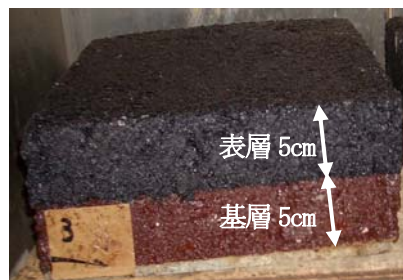


写真-3 WT試験供試体

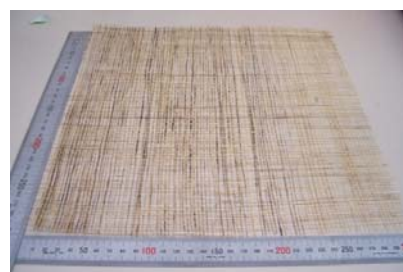


写真-4 ケナフメッシュ

表-6 ケナフメッシュ供試体作成パターン

供試体No.	i	ii	iii
メッシュ間隔	3mm	5mm	7mm
メッシュ挿入位置	表層内深さ2cm		

表-7 ケナフ混入による WT 試験結果および骨材移動量

供試体No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
式(1)で求めた値(DS相当)(回/mm)	2554	2100	2625	2779	2054	2953	2700	2423	829	4725
DS比	3.08	2.53	3.17	3.35	2.48	3.56	3.26	2.92	1.00	5.70
圧密変形量(mm)	6.05	9.21	7.48	7.34	7.25	5.54	5.78	6.27	11.6	5.39
圧密部平均骨材移動量(mm)	3.83	3.88	4.38	3.65	3.15	2.88	4.58	3.95	7.16	3.75
側方部平均骨材移動量(mm)	4.69	5.82	5.58	4.05	4.66	3.44	5.73	5.34	9.67	3.85
圧密部骨材移動量減少率(%)	46.5	45.8	38.8	49.0	56.0	59.8	36.0	44.8	0.0	47.6
側方部骨材移動量減少率(%)	51.5	39.8	42.3	58.1	51.8	64.4	40.7	44.8	0.0	60.2

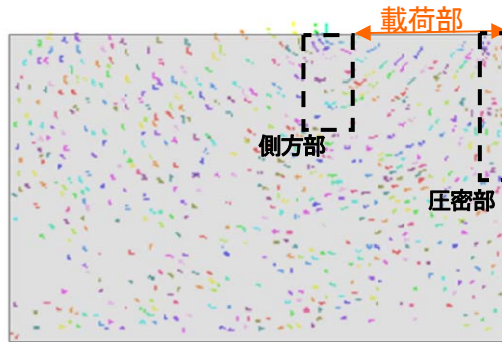


図-2 供試体No.6解析画像

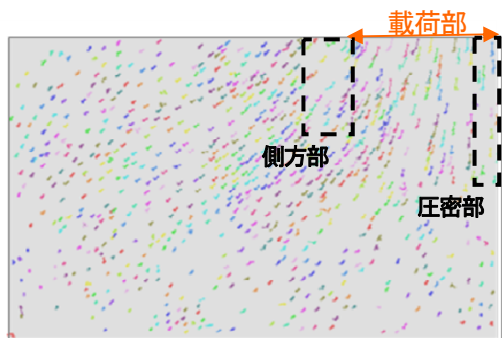


図-3 改質アスファルト混合物解析画像

合物(以下、密粒(13)ストアス)および改質アスファルト混合物(以下、密粒(13)改質Ⅱ)の供試体である。ケナフ繊維混入率はアスファルト混合物の重量比で定めた。なお、供試体寸法は各実験で異なり、WT試験は表層5cm、基層5cmの30×30×10cm(写真-3)、GB反発試験、SB反発試験及びラベリング試験は表層のみとし、40×30×5cmである。

また、ケナフメッシュを表層内深さ2cmの位置に挿入し、WT試験を行った。実験に用いたケナフメッシュを写真-4に示す。ケナフメッシュを用いた供試体作成パターンを表-6に示す。

(2) WT(Wheel Tracking)試験

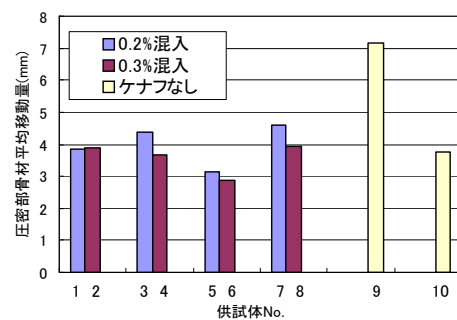
a) 試験方法

以下にWT試験条件を示す。

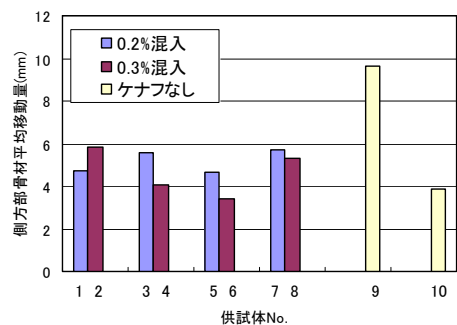
試験温度	: 60℃
輪荷重	: 70kgf
載荷速度	: 21往復/min
試験時間	: 120min
トラバース幅	: 10cm

表-8 圧密部、側方部

圧密部	位置	載荷部直下幅1cm, 深さ5cm
	面積	5cm ²
	骨材個数	38~80
側方部	位置	載荷部横幅2cm, 深さ3cm
	面積	6cm ²
	骨材個数	32~79



(a) 圧密部



(b) 側方部

図-4 混入率別の繊維長と骨材平均移動量の関係

本実験ではわだち掘れ形成過程における供試体内部の骨材の動きを把握するために、予め中央部で切断し、厚さ1mmのシリコンゴムシートを挟んで結合した供試体を用いた。実験は30分毎に供試体中央の横断面を撮影し、画像解析をおこなった。解析には1供試体につき載荷前と30分毎に撮影した写真の合計5枚を用いる。解析ソフトにはDipp Motion2D(ditect社製)を使用する。解析画像を骨材とその他の部分で二値化し、各々の骨材の重心位置を求める。載荷前の写真の各骨材重心位置を基準とし、30分間隔で撮影された写真全ての骨材の重心移動量を算出する。

なお、本論文のWT試験の条件は通常のDSを求める

表-9 ケナフメッシュ WT 試験結果及び骨材移動量

供試体No.	i	ii	iii
メッシュ間隔(mm)	3	5	7
式(1)で求めた値(DS相当)(回/mm)	3048	1454	1181
骨材通過率(%)	8.30	41.4	56.0
DS比	3.68	1.75	1.42
圧密部平均骨材移動量(mm)	3.52	5.06	4.84
側方部平均骨材移動量(mm)	3.70	6.23	6.81
圧密部骨材移動量減少率(%)	50.8	29.3	32.4
側方部骨材移動量減少率(%)	61.7	35.6	29.6

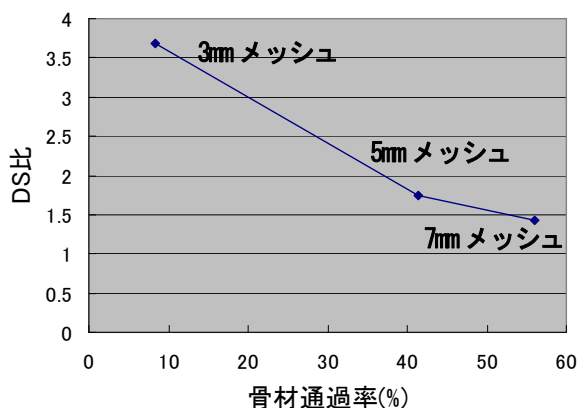


図-5 骨材通過率とDSの関係

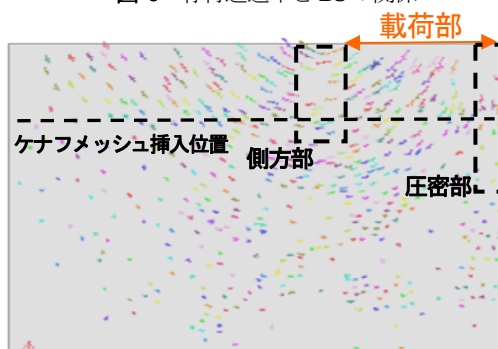


図-6 3mmメッシュ解析画像

条件と異なる。よって、各供試体に次式を適用し求めたDSを、供試体 No.9 の密粒(13)ストアスで同様に求めたDSで除した値(以下DS比)で評価する。

$$DS = \frac{\text{载荷回数}}{(\text{60分時の変位量} - \text{45分時の変位量})} \times 1.5 \quad (1)$$

b) ケナフ混入による耐流動性の評価

供試体の断面左半分における骨材移動の画像解析結果を図-2に示す。わだち掘れ形成過程での骨材の流動は、载荷部直下では圧密により生じ、载荷側方部では側方流動によって生じる⁹⁾。そこで、図-2に示すように载荷部中央直下の幅1cm、深さ5cmの範囲を圧密部とし、载荷部横の幅2cm、深さ3cmの範囲を側方部として骨材平均移動量を求めた。骨材移動量減少率は供試体 No.9 の密粒(13)ストアスの供試体を基準とし、その減少率を求めた。

WT試験結果および、各供試体の圧密部、側方部の骨材平均移動量と骨材移動量減少率を表-7に示す。ケナフ混入アスファルトは、いずれもDS比が1を上回る結果となった。このことから、ケナフ混入アスファルトは、耐流動性の向上に効果があると言える。最も高いDS比は、供試体No.6の3.56であった。

ケナフ混入アスファルトの骨材移動量減少率は、圧密部では36～59.8%、側方部では39.8～64.4%である。各混入率での平均減少率は、混入率0.2%で圧密部44.3%、側方部46.6%、混入率0.3%で圧密部49.9%、側方部51.8%であった。DS比の平均値は、混入率0.2%で3.00、混入率0.3%で3.09であり、これらの結果より、混入率0.3%がより耐流動性の向上に効果的だと言える。供試体No.6では、密粒(13)改質Ⅱと比較し側方部と圧密部で骨材平均移動量が小さいが、DS比では劣っている。図-2に供試体 No.6、図-3に密粒(13)改質Ⅱの解析結果を示す。供試体 No.6では側方部で骨材が横方向あるいは上方に流動し、供試体表面に隆起が生じている。一方、密粒(13)改質Ⅱでは側方部でも下方へと骨材が流動し、隆起が発生していない。よって、骨材の移動方向がDS比に影響していることがわかる。また、密粒(13)改質Ⅱはバインダの耐流動性が改善されているが、ケナフ混入アスファルトは繊維によって流動抵抗が大きくなり、骨材の移動は抑えられるがバインダの流動を抑えられない。このため、密粒(13)改質ⅡほどDS比が向上しないと考えられる。

図-4にケナフ混入率別の繊維長と骨材平均移動量の関係を示す。混入率別に見ると、側方部、圧密部共に繊維長15mmの供試体 No.5およびNo.6で骨材移動量が最小となった。また、混入率0.3%では繊維長が15mmに近づくにつれて骨材移動量が小さくなる傾向がみられる。繊維長15mmは密粒(13)ストアスの骨材最大粒径13mm近い値であり、最適な繊維長は骨材最大粒径に近い値になると考えられる。

c) ケナフメッシュ挿入による耐流動性の評価

次にケナフメッシュ挿入によるWT試験結果および粒径が7号以上の骨材のメッシュ通過率を表-9に示す。前節同様に画像解析により各供試体の圧密部、側方部の骨材平均移動量と、密粒(13)ストアス比の骨材移動量減少率を求めた。図-5に骨材通過率とDS比の関係を示す。ケナフメッシュ挿入によるDS比は、3mm間隔のメッシュで3.68と高い値を得られ、メッシュ間隔が細かい程高くなる傾向を得た。これは、メッシュが物理的に骨材の通過を阻み、流動抵抗が増加するためと考えられる。3mm間隔のメッシュでは表層に用いた密粒(13)ストアスの場合、91.7%の骨材がメッシュを通過できないことに

表-10 GB 反発試験・SB 反発試験結果

供試体No.	GB反発係数(%)	SB反発係数(%)
1		6.4
2	71.0	7.7
3		5.7
4	70.4	5.2
5		6.6
6	70.3	5.3
7		7.1
8	72.7	7.4
9	72.5	8.2
10	70.8	7.8

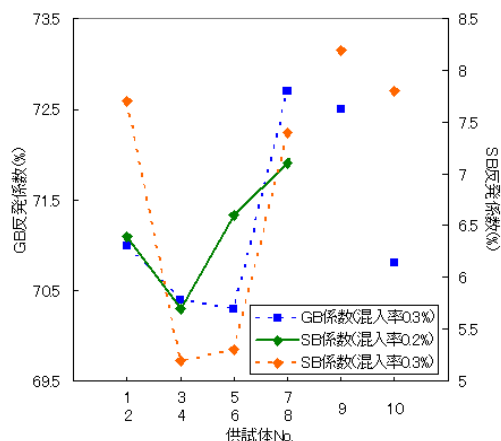


図-7 GB 反発試験・SB 反発試験結果

表-11 ラベリング試験結果

供試体No.	すり減り面積(mm ²)	摩耗幅(mm)	平均摩耗深さ(mm)
1	58.0	75.0	0.77
2	61.0	81.7	0.75
3	68.6	76.7	0.89
4	56.5	75.0	0.75
5	57.2	73.3	0.78
6	60.8	73.3	0.83
7	61.0	75.0	0.81
8	84.0	80.0	1.05
9	50.1	65.0	0.77
10	57.5	75.0	0.77

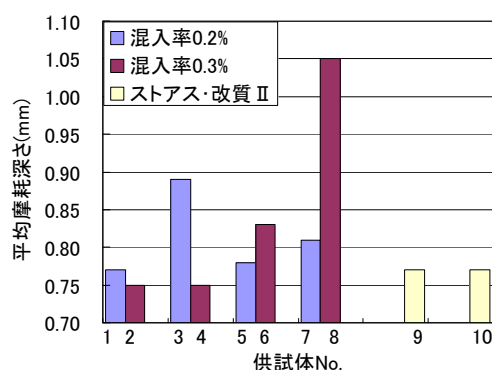


図-8 ラベリング試験結果

なる。

図-6 に 3mm メッシュを挿入した供試体の解析画像を示す。ケナフメッシュ挿入位置以下の骨材移動量は小さく、骨材の流動範囲を抑えられていることがわかる。前節と同様に圧密部と側方部の骨材平均移動量を算出する

と、圧密部では 3.52mm、側方部では 3.70mm であり、骨材移動量減少率は 50.8%、61.7%といずれも密粒(13)改質 II より骨材移動量を抑制できる。

(3) GB 反発試験・SB 反発試験

a) 試験方法

衝撃吸収性を評価するために GB 反発試験、SB 反発試験を行なった。GB 試験では各供試体につき 10 回測定し、それらの値の平均を GB 反発係数とした。しかし、SB 試験ではアスファルト混合物表面の状態で値が大きく変化するため各供試体につき測定回数を 20 回と多くし、最大値と最小値を除いた平均を SB 反発係数とした。

b) 試験結果及び考察

GB 反発試験、SB 反発試験では 30 コマ/秒でビデオ撮影し、撮影時刻の異なる 3 枚の画像から跳ね返り高さ h_{max} を算出して、GB 反発係数、SB 反発係数を求めた。その結果を表-10、図-7 に示す。

表-10 より、供試体 No.8 の GB 反発係数を除くケナフ混入アスファルトの GB 反発係数、SB 反発係数は密粒(13)ストアスの各係数よりも小さいことがわかる。混入率や繊維長によっては密粒(13)改質 II よりも小さい値となっている。つまり、アスファルト舗装にケナフを混入すると衝撃吸収性が高くなる傾向があるといえる。

図-7 に示すように繊維長 10~15mm のとき衝撃吸収性に優れるという結果になる。次に密粒(13)ストアスと密粒(13)改質 II の値を見ると SB 反発係数ではあまり違いが見られないが、GB 反発係数には大きな差がある。それに対し、ケナフ長 10mm から 15mm の供試体では GB 反発係数、SB 反発係数ともに密粒(13)ストアスの値を大きく上回っている。したがって、ケナフ混入アスファルトは GB 試験では密粒(13)改質 II と同程度、SB 試験ではそれ以上の衝撃吸収性が期待できる。

(4) ラベリング試験

a) 試験方法

耐摩耗性を評価するためにクロスチェーンによるラベリング試験を行った。本実験では低温時(-10℃)において実験時間を 90 分とし、30 分ごとにすり減り量を測定した。

b) 試験結果及び考察

今回のラベリング試験では耐摩耗性を評価するために平均摩耗深さを用いた。供試体中央、左右端から 10cm の 3 箇所で断面を取って、5mm ごとに摩耗深さを測定し、各摩耗深さからすり減り面積を算出する。更に、すり減り面積と摩耗幅から平均摩耗深さを算出した。その

結果を表-11、図-8 に示す。まず、表-11 ですり減り面積を見ると、その値が最も小さいのは密粒(13)ストアスである。しかし、密粒(13)ストアスは摩耗幅が小さく、平均摩耗深さで比べると密粒(13)改質Ⅱと同じ値となっている。図-8 を見ると供試体 No.3 の結果が特異ではあるが、他のケナフ混入アスファルトの結果は繊維量が少ない供試体で密粒(13)ストアスと同程度の値となっており、繊維長 5～15 mmの供試体は密粒(13)ストアスや密粒(13)改質Ⅱと同程度の耐摩耗性があることが分かる。

しかし、耐流動性が最も向上した 0.3%15 mmのケナフ混入条件では密粒(13)ストアスと改質Ⅱに比べ 7.8%耐摩耗性が悪くなっている。

4. 環境負荷の評価

(1) アスファルト舗装工事における CO₂の排出

本研究では、環境負荷として CO₂の排出量を取り上げる。

アスファルト舗装工事における CO₂の排出には、材料、混合物製造、施工及び輸送に伴うものがある。各項目の CO₂ 原単位を表-12 のように定める^{10, 11)}。なお、施工に関わる CO₂排出原単位については、切削オーバーレイによる表層施工を想定し、作業は標準的な方法で施工したものと仮定して算出された値を使用した。また、その値は、施工に関する CO₂排出は全て施工機械の消費燃料に起因するものとし、施工における総燃料消費量から求められたものである。輸送に関わる CO₂排出原単位については田井らの報告¹¹⁾を基に輸送距離を指定し、輸送車の燃費・積載量を仮定して算出されたものを用いた。表-13 に施工に関わる各値を、表-14 に輸送に関わる各値を示す¹⁰⁾。CO₂排出原単位については、材料の生産や機械等の製造の際に発生する CO₂を案分した間接的排出があるが¹²⁾、ここでは直接的排出のみを対象とする。ストレートアスファルト混合物製造の各工程における CO₂排出のフロー及び CO₂排出量を図-9 に示す。各工程に関わる CO₂排出原単位を材料配合比等に応じて積み上げ計算を行い、本研究で表層に用いた密粒(13)ストアスの CO₂排出原単位を算出すると 17.08kg-C/t となる。同様に改質アスファルト混合物の CO₂排出原単位は 18.35kg-C/t である。したがって、改質アスファルト混合物はストレートアスファルト混合物と比較して CO₂排出量が 7.4%多いことがわかる。

(2) ケナフ繊維による CO₂の固定

ここで、ケナフ繊維による CO₂固定量を算出する。木

表-12 各項目の CO₂ 原単位

項目	CO ₂ 原単位(kg-C/t)
材料	ストアス
	改質
	乳剤
	石灰石
	砂
	碎石
混合物製造	
施工	
輸送	

表-13 施工に関わる CO₂原単位*1, *2

項目	燃料消費率 (l/kWh)	機関出力 (kW)	燃料消費 (l/日)	単位消費量 (l/t)
切削機	0.144	287	330.6	2.68
スキャバー	0.063	190	95.8	0.78
A.F.	0.152	38	46.2	0.37
R.R.	0.108	56	48.4	0.39
T.R.	0.100	71	56.8	0.46
総単位燃料消費量(l/t)				4.68
燃料のCO ₂ 排出原単位(kg-C/l)				0.72
施工CO ₂ 排出原単位(kg-C/t)				3.37

*1国土交通省土木工事標準積算基準書2003, *2日本建築機会化協会2003

表-14 輸送に関わる CO₂原単位

項目	輸送距離 ¹⁴⁾ (km)	輸送量 (t)	CO ₂ 排出量 (kg-C)	CO ₂ 排出量原単位 (kg-C/t)
アスファルト	240	30	34.56	1.15
骨材	20	10	2.88	0.29
混合物	20	10	2.88	0.29
乳剤	240	10	34.56	3.46
燃料のCO ₂ 排出原単位(kg-C/l)				0.72
輸送車燃料費【仮定値】(km/l)				5.00

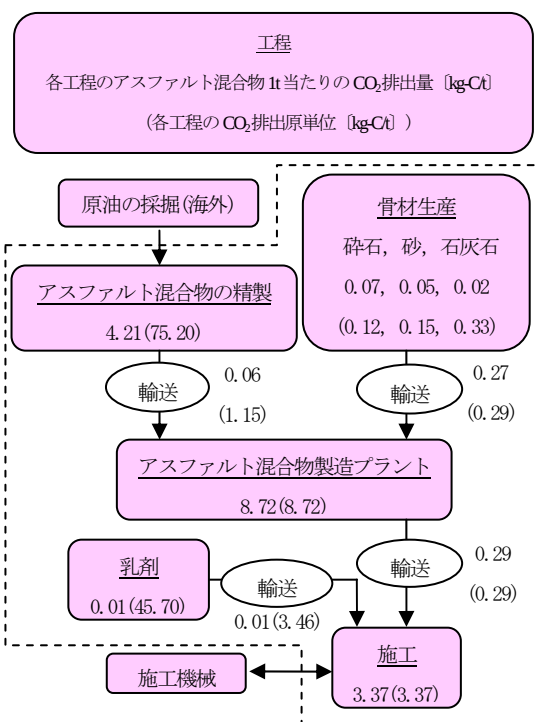


図-9 ストレートアスファルト混合物 CO₂排出フロー

や草などの植物は、光合成をするために CO₂ を吸収し、酸素を排出しながら成長する。植物の茎や木の幹は主に CO₂ から O₂ を除いた炭素で構成されている。植物などの自然材料は朽ちて同量の CO₂ を排出するためカーボンニュートラルが成り立つ¹³⁾。しかし、ケナフ繊維を混入すればアスファルト舗装の供用期間は、アスファルト混合物中に炭素を固定できるため、大気中の CO₂ をケナフ繊維で埋蔵し削減することができる。よってケナフ混入アスファルトの CO₂ 削減率を求め環境負荷を評価する。

植物による CO₂ 固定量には繊維素中の炭素量から算出する理論値と元素分析の結果から算出する実測値がある。セルロースの分子式は $n(C_6H_{10}O_5)$ であるので、理論値は次式(2)で求められる¹⁴⁾。

$$CO_2 \text{ 固定率(\%)} = \frac{\text{炭素}}{\text{繊維素}} = \frac{n6C}{n(C_6H_{10}O_5)} \times 100 = 44.4 \quad (2)$$

しかし、この値はケナフ全茎部のものである。本研究ではケナフの靱皮繊維のみを使用しているので、靱皮部のみでの固定量を算出する必要がある。そこで、本研究では実測値による CO₂ 固定量を用いることとし、ケナフ繊維の元素分析によって各部位の炭素含有率を求めた。一般的に植物体に含まれる炭素は、ほぼ全てが大気中の CO₂ に由来しているとされていることから、炭素含有量と固定量は等しくなる。そこで、本研究ではケナフ繊維の炭素含有量の値に CO₂ と C の分子量の比 44/12 を乗じることによって CO₂ 固定量の算出を行なった¹⁵⁾。その結果を表-15 に示す。

ケナフ混入率 0.2%で考えると、アスファルト混合物 1t に混入するケナフ繊維の量は $2.0 \times 10^{-3}t$ となる。したがって、アスファルト混合物にケナフ繊維の靱皮部を 0.2%混入した場合の CO₂ 固定量は平均で 3.00kg-C/t である。

次に、ケナフ繊維運搬時の CO₂ 排出量を算出する。ケナフは 100km 圏内で栽培し、栽培地で繊維化して輸送すると仮定する。ここでも田井らの報告¹¹⁾を基に輸送距離を 100km、輸送量を 10t と推定すると CO₂ 排出量は 14.40kg-C、CO₂ 原単位は 1.44kg-C/t となる。ケナフ混入率 0.3%で考えるとアスファルト混合物に使用するケナフの輸送による CO₂ 排出量は $4.32 \times 10^{-3}kg-C/t$ であり、無視できる。

これら値を考慮するとケナフ 0.2%混入アスファルトの CO₂ 排出原単位は 14.08kg-C/t であるので、CO₂ 削減率は密粒(13)ストアスと比較して 17.6%となる。同様にケナフ混入率を 0.3%では 26.3%になる。ケナフは CO₂ 吸収速度が速いという特徴があるため非常に高い削減率となっている。

表-15 ケナフ繊維の C 含有率及び CO₂ 固定量

	靱皮部	木質部	全茎部
C含有率(%)	39.8~42.1	41.6~44.4	42.1~43.1
CO ₂ 固定量(kg-C/t)	1459~1544	1525~1628	1544~1580

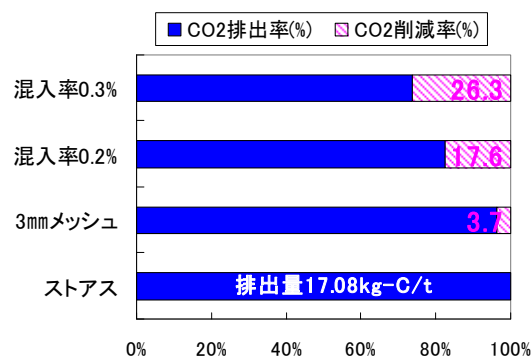


図-10 密粒(13)ストアスと比較した CO₂ 削減率

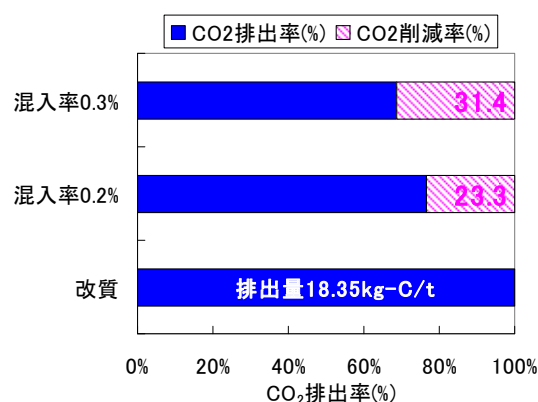


図-11 改質混合物と比較した CO₂ 削減率

また、本研究で WT 試験の供試体に挿入した 3mm ケナフメッシュの質量は 4.4g である。アスファルトの単位体積重量を 2.35t/m³ とし、3mm ケナフメッシュをアスファルト混合物 1t 当たりに換算すると $4.2 \times 10^{-4}t$ となる。したがって、3mm ケナフメッシュを挿入した場合の CO₂ 固定量は平均で 0.63kg-C/t である。この値を考慮すると 3mm ケナフメッシュ挿入アスファルトの CO₂ 原単位は 16.45kg-C/t となり、CO₂ 削減率は 3.7%となる。

図-10 に密粒(13)ストアスと比較した各アスファルト混合物の削減率、図-11 に改質アスファルト混合物と比較した各アスファルト混合物の CO₂ 削減率を示す。改質アスファルト混合物と比較するとケナフ 0.2%混入では 23.3%、ケナフ 0.3%混入では 31.4%、3mm メッシュ挿入では 10.4%の CO₂ 削減となる。よって、DS 比の値を考慮するとケナフ混入アスファルトがメッシュを挿入する手法より環境負荷に対して優位と言える。

なお、ケナフから繊維を取り出す過程はバクテリアや自然エネルギーを用いることができるため CO₂ 発生量を無視できると考える。

5. まとめ

本研究では、ケナフ繊維を混入したアスファルト混合物の機能性を評価するためにWT試験、GB反発試験、SB反発試験およびラベリング試験を行なった。また、環境負荷の評価を行なうためにケナフ混入アスファルトのCO₂削減率を求めた。本研究から得られた結論を以下に示す。

- (1) WT 試験により、ケナフ繊維を混入したアスファルト混合物およびケナフメッシュを挿入したアスファルト混合物は、密粒(13)ストアスと比べ耐流動性に優れることがわかった。
- (2) 骨材移動量に関しては繊維長、混入率、メッシュ間隔によっては改質アスファルト混合物より優れた性能を得られたが、骨材の流動方向の差異によってDS比では密粒(13)改質Ⅱに及ばないとわかった。
- (3) GB 反発試験、SB 反発試験により、ケナフ混入アスファルトは密粒(13)ストアスと比べ衝撃吸収性が優れることがわかった。
- (4) 環境負荷の評価により、ケナフ繊維混入率 0.3%のアスファルト混合物ではストレートアスファルト混合物と比較すると 26.3%、改質アスファルト混合物と比較すると 31.4%の CO₂ 排出量が削減できることがわかった。
- (5) ケナフメッシュ挿入では耐流動性や骨材移動量の抑制で効果が見られたが、繊維使用量が少ないためCO₂排出量の削減にはあまり貢献できない。

6. おわりに

本論文ではアスファルト舗装にケナフ繊維を混入することにより、環境負荷を低減させながら耐流動性や衝撃吸収性といった舗装の機能性を向上させることが可能であることを示した。今後このような舗装に対する需要は高まると考えられる。ストレートアスファルト混合物と比較して 26.3%の CO₂ 削減率を確認できた環境負荷の評価については、今後ケナフ繊維裁断時の CO₂ 排出量を考慮する必要がある。

ケナフ混入アスファルトは、DS比がストレートアスファルトの 3.5 倍あり CO₂ は 26%削減でき、かつ施工が従来と同程度あることから一般アスファルト舗装の表層への適用が期待できる。更に、ケナフ混入アスファルト

の再生利用はケナフ繊維がそれを阻害しないので問題はないと考えられる。ケナフ以外の植物においてもその効果はあるが、繊維の強度や成長速度、CO₂ 吸収速度の観点から見るとケナフより効果が低いことが予想される。今後はケナフ混入アスファルトの耐久性について検討する必要がある。

参考文献

- 1) Danny, E. A., W. Herbert, M. III, Luanne, L. R., Roy B. D., Paul L. R. : Chemical and structural properties of kenaf cell types, KENAF PROPERTIES, PROCESSING AND PRODUCTS, pp.105-120, 1999.
- 2) Ovidiu, R., Simona, R., John, R. C., Billie, J. C. : Value-Added Geotextile Products made from Kenaf, KENAF PROPERTIES, PROCESSING AND PRODUCTS, pp.245-256, 1999.
- 3) James, H. M., Andrzej, M. K., John, A. Y., Poo, C., Zhaozhen, B. : Performance of handboards made from kenaf, KENAF PROPERTIES, PROCESSING AND PRODUCTS, pp.367-379, 1999.
- 4) 寺田剛, 坂本浩行, 片脇清: エネルギー消費およびCO₂排出量から算出した省資源・省エネ舗装, 舗装Vol.30 No.2, pp.4-9, 1995.
- 5) 非木材紙普及協会 編集委員会: 新ケナフの話, 非木材紙普及協会, 2002.
- 6) 釜野徳明ら: 第 3 回ケナフ栽培・利用研究発表会要旨, pp.25, 東京・ワーカーズサポートセンター, 1999.
- 7) 小林好生: 環境保全に役立つ紙資源ケナフ, ユニ出版株式会社, 1991.
- 8) 千葉浩三: ケナフの絵本, 財団法人 農山漁村文化協会, 1999.
- 9) Takashi, K., Akihiro, M., Takaki, Y., Shouichi, T., Takeshi, I. : Various Loading Conditions for Wheel Tracking Test, Journal of the Japan Petroleum Institute, 48(5), pp.260-271, 2005.
- 10) 田口仁: 舗装技術における CO₂ 排出の環境負荷, 道路建設, pp.26-29, 2006.
- 11) 田井文夫, 長谷川淳也: CO₂ 排出量に着目した舗装技術の方向に関する調査研究, アスファルト, pp.43-51, 2000.
- 12) 片脇清, 寺田剛, 山本聡, 坂井田美晴, 小栗ひとみ: 資源・エネルギー消費, 環境負荷の算定手法の開発と実態調査報告書(その1), 土木研究所資料, No. 3167, pp. 88, 1993.
- 13) <http://panasonic.co.jp/index3.html>
- 14) 稲垣寛: ケナフによる炭酸ガスの吸収について, ケナフに関する専門検討協議会資料, 2002.
- 15) 藤原宣夫, 山岸裕, 村中重仁: 都市緑化樹木によるCO₂固定量の算定方法に関する研究, 日本緑化学会誌第28巻第1号, pp.14-25, 2002.

AN EVALUATION OF FUNCTION AND ENVIRONMENTAL LOAD IN ASPHALT PAVEMENT WITH KENAF FIVER

Kiyokazu KIMURA, Keiko ISHIDA, Yoshinobu WATANABE,
Hitoshi TAGUCHI and Toru AOI

We executed Wheel Tracking test, GB repulsion test, SB repulsion test, and Ravelling test to evaluate function of asphalt pavement mixed with kenaf fiber. Functions which we evaluate are fluidity resistance, absorption of impact and wear out resistance. Then Global warming attendant on increase of CO₂ clearly exist. Discharge of CO₂ by road sector occupied a quarter in civil industry. It is important for us to evaluate pavement from the viewpoint of environment. So we evaluated reducing the amount of CO₂ by asphalt with kenaf fiver.

As a result of each test in the laboratory, asphalt mixture with kenaf fiver was superior in the fluidity resistance and absorption of impact to asphalt mixture used by straight asphalt. The amount of CO₂ emissions by asphalt mixture with kenaf fiver was about 70 percent of the amount of CO₂ emissions by straight asphalt mixture.