

IV-1-2 他産業リサイクル材の利用技術に関する研究

研究予算：運営費交付金（道路整備勘定）

研究期間：平 13～平 17

担当チーム：新材料チーム

研究担当者：西崎 到、新田 弘之、加藤 祐哉

【要旨】

建設廃木材は利用用途が限られ需要も少ないことからリサイクル率が低迷しており、用途開発が重要な課題となっている。また一方で、都市部の幹線道路周辺では自動車排出ガスによる大気汚染が問題となっており、有効な対策が求められている。そこで、廃木材を炭化して得られる多孔質炭素材料（ウッドセラミックス）を舗装材料の一部として利用し、この材料の特性を生かした新たな大気汚染物質（NOx 等）浄化型舗装の開発を目指した。

本課題ではこのような舗装を開発するために、ウッドセラミックスを舗装材料に適用する際に最適な利用形態を明らかにした。更に、光触媒の酸化チタンを被覆したウッドセラミックスを使用し、その NOx 除去特性を明らかにした。

キーワード：建設廃木材、ウッドセラミックス、酸化チタン、NOx 除去舗装、大気浄化

1. はじめに

建設廃木材は利用用途が限られ需要も少ないことからリサイクル率が低迷しており、用途開発が重要な課題となっている。また一方で、都市部の幹線道路周辺では自動車排出ガスによる大気汚染が問題となっており、有効な対策が求められている。

そこで、本課題は廃木材を炭化して得られる多孔質炭素材料（ウッドセラミックス¹⁾）を舗装材料の一部として利用し、この材料の特性を生かした新たな大気汚染物質（NOx 等）浄化型舗装の開発を行い、その効果を調査した。

2. 研究概要

本課題では、以下の項目について検討した。

- ① ウッドセラミックスの舗装への適用性検討、最適な利用形態の調査

ウッドセラミックスの舗装への適用性を検討するために、素材としての特性に関する調査を行った。調査項目は、力学的特性、舗装用骨材・路盤材料としての物性、NOx 除去性能の各項目である。また最適な利用形態を検討するために、車道舗装、歩行者系舗装への適用性をそれぞれ検討した。

- ② ウッドセラミックスを適用した舗装材料の NOx 除去特性に関する調査

前項の調査で良好な結果を得たウッドセラミックスを表面に配置した舗装ブロックを用いた舗装の NOx 除去特性をさらに詳細に調べるとともに、屋外における特性や、実際に適用した場合の NOx 除去シ

ミュレーションを実施した。

3. ウッドセラミックスの素材としての特性調査

3. 1 ウッドセラミックスの概要

ウッドセラミックスは、木材にフェノール樹脂等を含浸させ、空隙に樹脂を充填した状態で炭化することにより得られる強度の高い多孔質炭化材料である。本課題では、廃木材等より製造される MDF（Medium Density Fiberboard、中質繊維板）を出発原料としたウッドセラミックスを検討対象とした。

本課題では、ウッドセラミックスを次の方法により製造した。

- ① フェノール樹脂含浸：超音波発振環境・真空下において1時間フェノール樹脂を含浸
- ② 乾燥・硬化：70℃で12時間乾燥後、3時間で130℃まで昇温させ、130℃で2時間硬化後に自然冷却
- ③ 炭化处理：真空炭化炉を使用して3℃/minで800℃まで昇温し、800℃を4時間保持した後に自然冷却

3. 2 ウッドセラミックスの力学的特性

3. 2. 1 ウッドセラミックスの基礎物性

(1) 方法

MDF は、大きく分けて広葉樹から製造されるものと針葉樹から製造されるものに分けられる。本課題では、表-1 に示す樹木の種類及び密度の異なる4種類の MDF それぞれからウッドセラミックスを製造したものを供試体とし、フェノール樹脂含浸率（上記製造工程②終了時に測定）や圧縮強度を測定した。

表-1 供試体の種類

供試体	特徴	密度(g/cm ³)
広葉樹タイプA	広葉樹を原料とする、低密度型	0.57
広葉樹タイプB	広葉樹を原料とする、高密度型	0.65
針葉樹タイプA	針葉樹を原料とする、低密度型	0.62
針葉樹タイプB	針葉樹を原料とする、高密度型	0.74

表-2 アスファルト混合物用砕石の目標性能

項目	目標値
表乾密度	2.45g/cm ³ 以上
吸水率	3.0%以下
すり減り減量	30%以下
損失量	12%以下

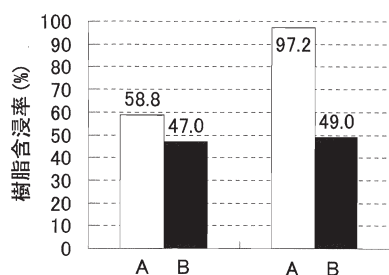
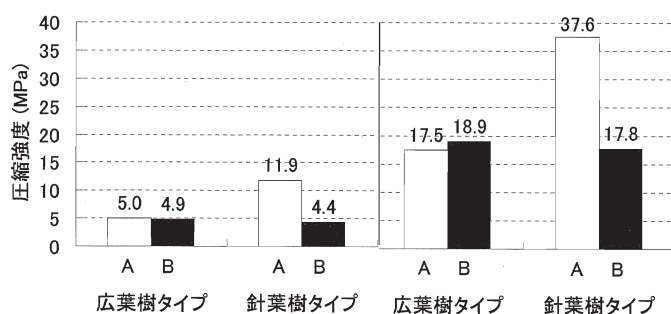


図-1 フェノール樹脂含浸率



(a) プレス面に載荷 (b) 側面に載荷

図-2 圧縮強度

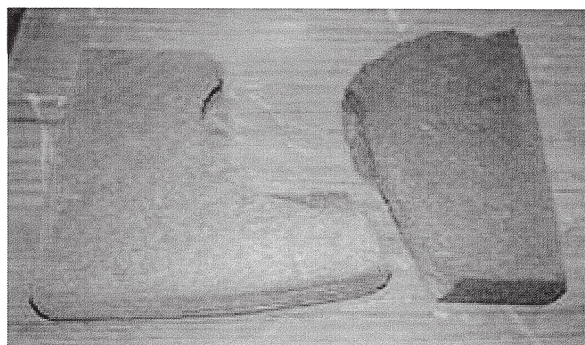


写真-1 変形・割れ

ここで、圧縮強度は一辺約12mmの立方体状ウッドセラミックスで測定し、載荷速度は0.5mm/minとした。また、載荷面はMDF製造時のプレス面と側面の2通りとした。

(2) 試験結果

フェノール樹脂含浸率の結果を図-1に示す。針葉樹タイプAのフェノール樹脂含浸率が97%と最も高いことが分かった。

圧縮強度の結果を図-2に示す。プレス面に載荷した場合よりも側面に載荷した場合の方が、圧縮強度が3~4倍程度高いことが分かった。種類別では、プレス面載荷・側面載荷共に針葉樹タイプAを原料としたものが突出して圧縮強度が高かった。

広葉樹タイプAと針葉樹タイプBの2種類については、製造段階で写真-1に示すように大きな変形や割れが生じた。

以上のことから、ウッドセラミックスは原料によってその力学的特性や、製造安定性に差があることが分かった。また、本試験に供したのものの中では、針葉樹タイプAから製造したウッドセラミックスが最も性状的に安定していると判断し、以後の検討においては全て、このMDFを出発原料としたウッドセラミックスを使用することとした。

3.2.2 舗装用材料としての性能

(1) 表層用骨材としての性能

1) 試験方法

ここでは、ウッドセラミックスの舗装表層用骨材としての性能を検討した。舗装設計施工指針では、表層アスファルト混合物に使用する砕石の目標値として表-2に示す項目が挙げられている。そこで、以下の項目について試験を行い、表層用骨材としての適用性を検討した。

① 表乾密度及び吸水率

ウッドセラミックスを破砕して6号砕石に相当する粒度(粒径5~13mm)に調整し、JIS A 1110「粗骨材の密度及び吸水率試験方法」に準じて測定した。

② すり減り減量

ウッドセラミックスの耐摩耗性を評価するために、JIS A 1121「ロサンゼルス試験機による粗骨材のすりへり試験方法」に準じて測定した。粒度区分はCとし、粒径5~10mm、10~15mmの破砕ウッドセラミックスを2500gずつ使用した。

③ 損失量

ウッドセラミックスの安定性を評価するために、JIS A 1122「硫酸ナトリウムによる骨材の安定性試験方法」に準じて測定した。測定は2.36~4.75mm、4.75~9.5mm、9.5~13.2mmの3種類の粒度の破砕ウッドセラミック

表-3 ウッドセラミックスの骨材試験結果

項目	測定値	目標達成状況
表乾密度	1.39g/cm ³	×
吸水率	62.8%	×
すり減り減量	20%	○
損失質量分率	9.5~13.2mm	6.7%
	4.75~9.5mm	0.4%
	2.36~4.75mm	2.4%
アスファルトの剥離面積率	5%	基準は特になし

表-4 路盤用砕石の目標性能

路盤の種類	項目	目標値
上層路盤	修正 CBR	80%以上
	すり減り減量	50%以下
	損失量	20%以下
下層路盤	修正 CBR	20%以上

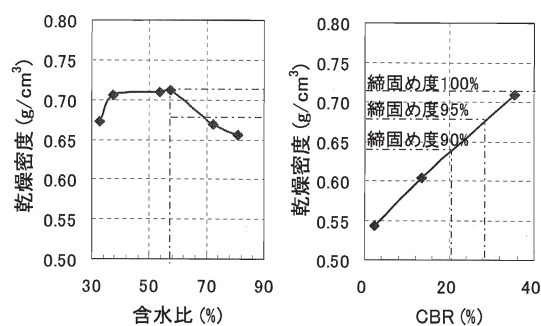


図-3 修正 CBR 試験結果

スについて行い、繰返し回数は5回とした。

④ アスファルトの剥離面積率

ウッドセラミックスとアスファルトとの接着性を評価するために石油学会規格 JPI-5S-27「アスファルト被膜のはく離性試験方法」に準じ、ストレートアスファルト 60/80 を被覆した粒度 9.5~13.2mm の破碎ウッドセラミックスを 80℃ の温水中に 30 分間浸し、引き上げたときのアスファルトの剥離面積率を測定した。

2) 試験結果

試験結果を表-3 に示す。表乾密度及び吸水率が表-2 に示した目標値を満たさないことが分かった。ウッドセラミックスは多孔質材料であることから特に吸水率が大きかった。

すり減り減量及び損失量については表-3 の目標を満足し、耐摩耗性、安定性については特に問題ないものと考えられる。

アスファルトの剥離面積率は5%であった。アスファルトとの付着性に明確な目標基準は特にないが、ウッドセラミックスとストレートアスファルトとの接着性は概ね良好であると考えられる。ただし、ウッドセラミックスの多孔質構造が多量のアスファルトを吸収し

表-5 酸化チタンゾルの仕様

項目	物性値
TiO ₂ 含有量	30%
pH	1.0
TiO ₂ 粒子径	20nm
TiO ₂ 結晶型	アナターゼ
密度	1.28g/cm ³
20℃粘度	10mPa・s 以下

たため、被覆に必要なアスファルト量は、通常の骨材に必要な量 5.5g の 5 倍程度を要した。

以上の結果より、ウッドセラミックスはすり減り抵抗性、安定性、アスファルトの剥離抵抗性に関しては舗装に使用される骨材の目標値を満足しているが、一般の骨材と比べて密度が小さい、吸水率が高い、アスファルトを多量に吸収するなど、特異な性質があるため、表層骨材としての利用には多くの工夫が必要であると考えられる。

(2) 路盤材料としての性能

1) 試験方法

ここでは、ウッドセラミックスの舗装路盤材料としての性能を調査した。舗装設計施工指針では、路盤に使用する砕石の目標値として表-4 に示す項目が挙げられている。すり減り減量及び損失量については 3. 3. 2 (1) の測定結果により、上層路盤における目標値を満たしていることが分かっているため、ここではウッドセラミックスの修正 CBR のみを測定した。

試験は、0~10mm の破碎状のウッドセラミックスを約 80kg 用意し、舗装試験法便覧「2-3-1 修正 CBR 試験方法」に準拠して行った。

2) 試験結果

試験結果を図-3 に示す。締固め度 90% 以上において、下層路盤の目標値 20% 以上を示すことが分かった。しかし、締固め度 100% における修正 CBR は 35% であり、上層路盤の目標値 80% 以上を満たさず、上層路盤材料としては不相当であることが分かった。

以上の結果より、ウッドセラミックスは下層路盤材料に適用できる性能を有することが分かった。車道透水性舗装等の路面排水が浸透する道路等で、支持力を有しながら、汚濁物質除去機能を付与させたい時に利用できる可能性があると考えられる。

3. 3 ウッドセラミックスの NOx 除去特性

3. 3. 1 光触媒被覆ウッドセラミックスの開発

ウッドセラミックスは多孔質であることから、表面に NOx 等を吸着することができると期待できる。しかし、吸着が続き飽和に達すれば、NOx 等の吸着性能は徐々に低下すると予想される。そこで、光触媒作用を

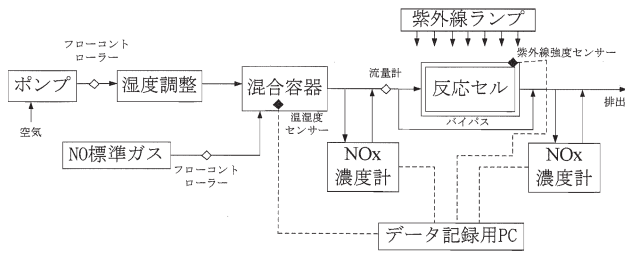


図-4 NOx 除去試験装置の概要図

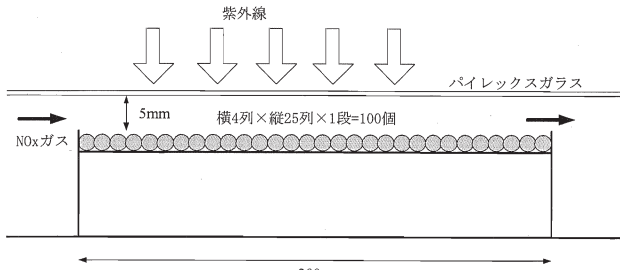


図-5 反応セル 1

表-6 NOx 除去性能試験条件 1

模擬汚染 空気	供給 NO 濃度	1.9vol ppm (0.1vol ppm の NO ₂ が別に存在)
	流速	0.4m/s
	相対湿度	50%
供試体表面の紫外線強度	10W/m ² (波長域: 300~400nm)	
測定時間	紫外線なし 60分→紫外線あり 130分→紫外線なし 30分	
供試体面積	約 150cm ²	
接触空気層の厚み	5mm	

有する酸化チタン (TiO₂) をウッドセラミックスの表面に被覆することを検討した。それにより、表面に吸着した NOx 等は酸化され、更に酸化チタンの親水性により降雨によって流出しやすくなり、恒久的に NOx 除去ができると考えられる。この考えに基づき、光触媒を表面に被覆したウッドセラミックスの開発を行った。

(1) 光触媒の被覆方法の検討方法

ウッドセラミックスの表面被覆に使用した酸化チタンゾルの仕様を表-5 に示す。被覆方法はゾル・ゲル法とし、手順は次の通りとした。

- ① ウッドセラミックスを酸化チタンゾルに浸漬
- ② 遠心分離で余分なゾルを除去
- ③ 常温で十分に乾燥 (12 時間)
- ④ 200℃で真空焼成 (酸化チタンの焼結)

ここでは、以上の手順に準拠し、酸化チタンゾルへの浸漬時間や遠心分離時間等の条件を変えて酸化チタンをウッドセラミックスに被覆し、それらの表面に付着した酸化チタンの質量のウッドセラミックス質量に対する比率 (質量増加率) と NOx 除去性能を測定して最適な被覆条件を調査することとした。質量増加率は、以下の式より求めた。

$$M = \frac{M_1 - M_0}{M_0} \times 100 (\%) \quad \dots (1)$$

ここに、 M : 質量増加率 (%)

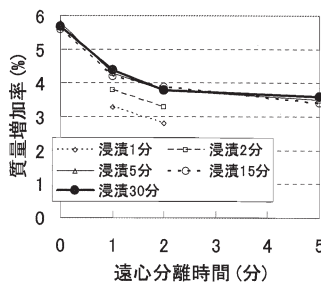


図-6 遠心分離時間、浸漬時間と質量増加率の関係 (被覆 1 回、真空焼成 1h)

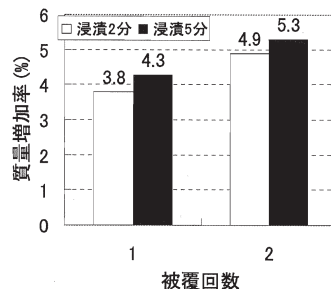


図-8 被覆回数、浸漬時間と質量増加率の関係 (遠心分離 1min、真空焼成 1h)

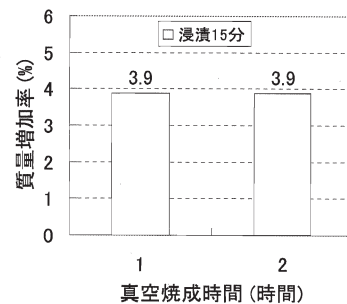


図-10 真空焼成時間と質量増加率の関係 (遠心分離 2min、被覆 1 回)

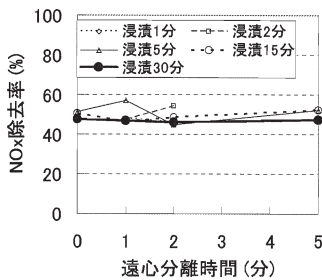


図-7 遠心分離時間、浸漬時間と NOx 除去率の関係 (被覆 1 回、真空焼成 1h)

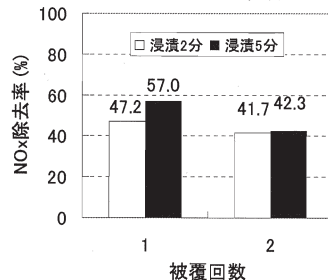


図-9 被覆回数、浸漬時間と NOx 除去率の関係 (遠心分離 1min、真空焼成 1h)

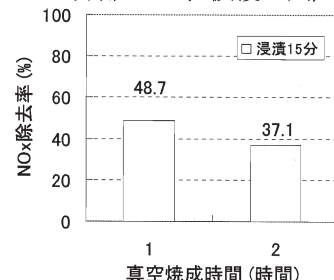


図-11 真空焼成時間と NOx 除去率の関係 (遠心分離 2min、被覆 1 回)

M_0 : 酸化チタン被覆前のウッドセラミックス質量 (g)

M_1 : 酸化チタン被覆後のウッドセラミックス質量 (g)

(2) NOx 除去性能試験方法

NOx 除去性能の測定は、図-4 に示すような装置を使用して行った。供試体を入れた反応セル (図-5) に NO ガス (希釈空気中の酸素と反応して生じた NO₂ を若干含む) を通気させ、反応セル前後の NOx 濃度を測定することにより供試体の NOx 除去性能を測定した。ここでは直径 10~13mm の球形のウッドセラミックスを縦 4 列×横 25 列×1 段の 100 個を供試体として用いた。測定条件を表-6 に示す。NOx 除去性能は、以下の式より求め、測定時間 220 分の平均値で表した。

(a) NO 除去率

$$R_{NO} = \frac{[NO]_0 - [NO]}{[NO]_0} \times 100 (\%) \quad \dots (2)$$

(b) NO₂ 生成率

$$R_{NO_2} = R_{NO} - R_{NOx} (\%) \quad \dots (3)$$

(c) NOx 除去率

$$R_{NOx} = \frac{[NOx]_0 - [NOx]}{[NOx]_0} \times 100 (\%) \quad \dots (4)$$

ここに、

R_{NO} : NO 除去率 (%)

R_{NO_2} : NO₂ 生成率 (%)

R_{NOx} : NOx 除去率 (%)

$[NO]_0$: 供給 NO 濃度 (ppm)

$[NO]$: セル出口の NO 濃度 (ppm)

$[NO_2]_0$: 供給 NO₂ 濃度 (ppm)

$[NO_2]$: セル出口の NO₂ 濃度 (ppm)

$[NOx]$: NOx 濃度 (ppm) (= $[NO] + [NO_2]$)

(3) 光触媒被覆方法の検討結果

遠心分離時間及び浸漬時間を変化させた場合の結果を図-6 及び 7 に示す。浸漬時間の増加と共に、質量増加率は増加したが、5 分以上の浸漬では質量増加は見られなかった (図-6)。遠心分離時間を増加させると、余分な酸化チタンゾルが除去されることから質量増加率は減少した。一方、NOx 除去率との間に目立った差は見られなかった (図-7)。

被覆回数を変化させた場合の結果を図-8 及び 9 に示す。被覆回数を 1 回から 2 回に増加させると、付着量が増加することから質量増加率は 2 回の方が高かったが (図-8)、NOx 除去率は 1 回の方が高かった (図-9)。これは被覆を重ねたことで表面の細孔が減少したため

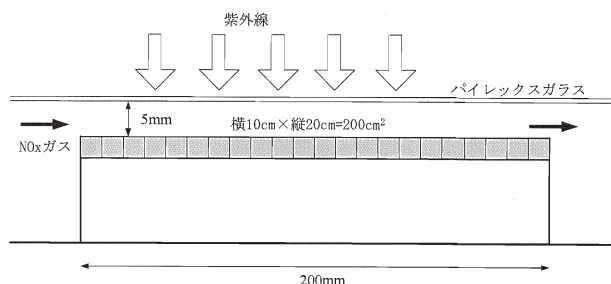


図-12 反応セル 2

表-7 NOx 除去性能試験条件 2

模擬汚染 空気	供給 NO 濃度	1vol ppm (0.05vol ppm 以下の NO ₂ が別に存在)
	流速	0.1m/s
	温度	25°C
	相対湿度	50%
	供試体表面の紫外線強度	10W/m ² (波長域: 300~400nm)
	測定時間	5 時間
	供試体面積	200cm ²
	接触空気層の厚み	5mm

と考えられる。

真空焼成時間を変化させた場合の結果を図-10 及び 11 に示す。ここで、真空焼成時間には、200°C までの昇温時間 3 時間、50°C までの降温時間 4 時間は含まれていない。真空焼成時間を変化させても質量増加率は変化しなかったが (図-10)、NOx 除去率は 2 時間よりも 1 時間の方が高かった (図-11)。これは、酸化チタン粒子の焼結が進んだことにより、表面積が減少したためと考えられる。

以上の結果より、本課題においては以下の被覆条件が最良と判断し、以後この条件で酸化チタンの被覆を行うこととした。

- ① 酸化チタンゾルへの浸漬 5 分
- ② 遠心分離 1 分
- ③ 常温で十分に乾燥 (12 時間)
- ④ 200°C の真空焼成 1 時間 (昇温 3 時間、降温 4 時間)
- ⑤ 被覆回数は 1 回

3. 3. 2 光触媒被覆ウッドセラミックスの NOx 除去に関する基礎特性

(1) 概要

光触媒を被覆したウッドセラミックスを舗装材料に適用する場合、様々な環境におかれることが想定される。そこで、様々な環境下でのウッドセラミックスの NOx 除去性能を調査した。

(2) 試験方法

試験は図-4 に示す装置及び図-12 に示す反応セルを使用して行った。ここでは 1 辺約 12mm の立方体状光触媒被覆ウッドセラミックスを供試体として用い、試験

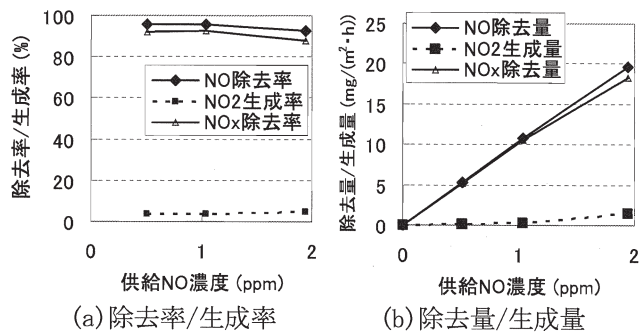


図-13 供給NO濃度の影響

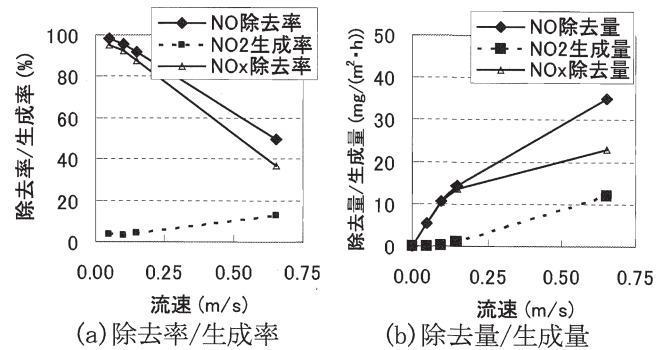


図-14 供給ガスの流速の影響

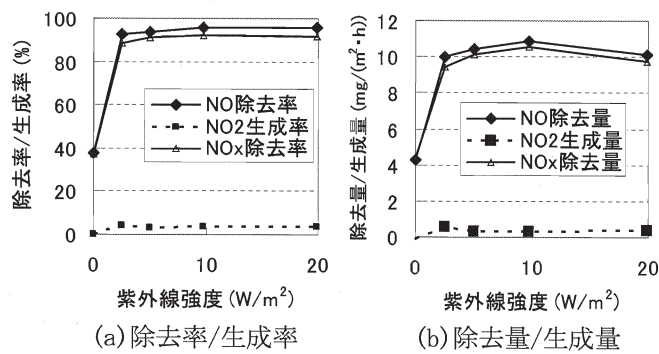


図-15 紫外線強度の影響

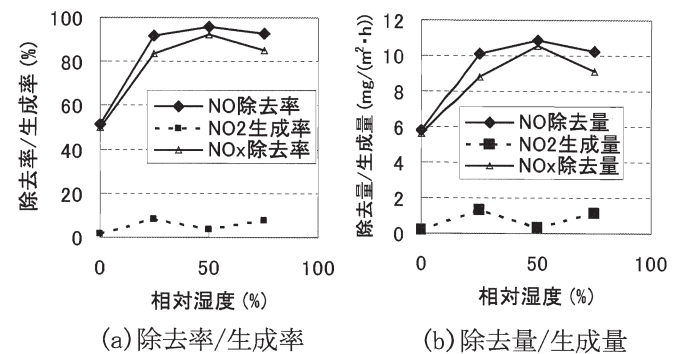


図-16 相対湿度の影響

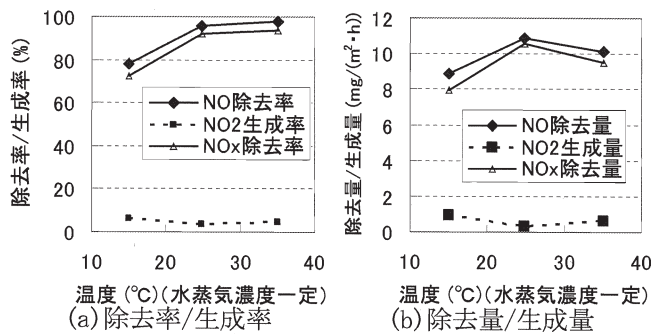


図-17 温度の影響
(水蒸気濃度は一定)

条件は表-7を基本としてNOx濃度、流速、温度、相対湿度を変化させた場合のNOx除去性能を測定した。

NOx除去性能は、3.3.1(2)と同様にNOx除去率と、単位面積・単位時間当たりのNOx除去量を以下の式により求めて評価した。

(a) NO除去量

$$Q_{NO} = \frac{18af}{224t} \int ([NO]_0 - [NO]) dt \quad \dots (5)$$

(b) NO₂生成量

$$Q_{NO_2} = \frac{27.6af}{224t} \int ([NO_2] - [NO_2]_0) dt \quad \dots (6)$$

(c) NOx除去量

$$Q_{NOx} = Q_{NO} - Q_{NO_2} \quad \dots (7)$$

ここに、
 Q_{NO} : NO除去量 (mg/(m²・h))
 Q_{NO_2} : NO₂生成量 (mg/(m²・h))
 Q_{NOx} : NOx除去量 (mg/(m²・h))
 t : 測定時間 (min)
 a : 供試体面積 (m²)
 f : 標準状態 (0℃、1013hPa) 換算流量 (L/min)

(3) 供給NO濃度の影響

供給NO濃度を0.5~2ppmに変化させた場合のNOx除去に及ぼす影響を調べた。供給NO濃度とNOx除去率、NOx除去量の関係を図-13に示す。供給NO濃度が0.5~2.0ppmの範囲では、NOx除去率には目立った変化は無く、供給NO濃度でも高い除去率を示した。また、NO、NOx除去量及びNO₂生成量は、供給NO濃度が高くなるほど増加した。これは、供給NO濃度が増加すると供試体に接触するNO量が増加したためと考えられる。ただし、NO₂生成量も増加し、更に吸着できないNO₂量も増加するため、NOx除去量の伸びは次第に低下する結果となった。

(4) 供給ガスの流速の影響

供給ガスの流速を0~0.65m/sに変化させた場合のNOx除去に及ぼす影響を調べた。流速とNOx除去率、NOx除去量の関係を図-14に示す。流速が増加するとNO、NOx除去率が減少し、NO₂生成率が増加することが

分かった。また、NO、NO_x 除去量及び NO₂ 生成量も増加することが分かった。

NO 除去量及び NO₂ 生成量の増加は、流量が増加すると供試体に接触する NO 量が増加したためと考えられる。ただし、流速が増加すると供試体に接触できない NO の割合も増加するため NO 除去量の伸びは低下し、NO、NO_x 除去率が減少したものと考えられる。

(5) 紫外線強度の影響

紫外線強度を 0~20W/m² に変化させた場合の NO_x 除去に及ぼす影響を調べた。紫外線強度と NO_x 除去率、NO_x 除去量の関係を図-15 に示す。紫外線強度が 2.5~20W/m² の範囲では、NO_x 除去性能は紫外線強度によらないことが分かった。我が国では、紫外線強度は夏の晴れた日で 40W/m²、冬の曇り又は雨の日でも 1W/m² 程度はあるとされ²⁾、本結果より紫外線強度が少なくとも 2.5W/m² 以上あれば NO_x 除去反応が起こり得ることが分かった。

また、紫外線強度がゼロの場合でも、NO_x 除去率、NO_x 除去量共に紫外線照射状態の約 4 割の値を示すことが分かった。これは、光触媒による NO_x 除去反応ではなく、多孔質なウッドセラミックス自体の吸着による効果であると考えられる。

(6) 相対湿度の影響

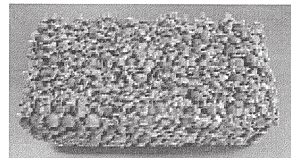
相対湿度を 0~75% に変化させた場合の NO_x 除去に及ぼす影響を調べた。相対湿度と NO_x 除去率、NO_x 除去量との関係を図-16 に示す。NO、NO_x 除去率、除去量共に相対湿度が 25~75% の範囲ではそれほど大きな変化は無く、相対湿度ゼロではその 5~6 割程度の値を示すことが分かった。高湿度条件では NO_x 除去率が低下することがしばしば報告されているが²⁾、ウッドセラミックスでは低湿度条件で NO_x 除去率の低下を示す結果となった。

(7) 温度の影響

ここでは、水蒸気濃度を 1.56% (温度が 25℃ の場合、相対湿度 50% に相当) で一定として温度を 15~35℃ に変化させた場合の NO_x 除去に及ぼす影響を調べた。温度と NO_x 除去率、NO_x 除去量との関係を図-17 に示す。温度の増加により NO、NO_x 除去率は増加した。活性炭等の吸着特性は温度が上昇すると減少することが報告されている³⁾ ことから、光励起による光触媒反応に加え、温度依存性のある作用が付与されたためと考えられる。

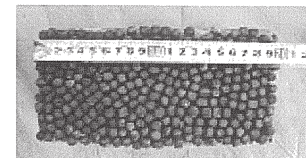
表-8 舗装構造体

No.	舗装構造	ウッドセラミックス形状	接着剤
1	①接着剤プレコート碎石によるポーラス舗装	φ10mmの球形	エポキシ系、非弾性型
2	②接着剤を使用したコンクリートブロック舗装	φ5mmの球形	エポキシ系、弾性型
3	③洗出しコンクリート平板舗装		なし
4	装	破碎形状	



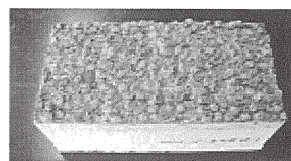
No. 1

①接着剤プレコート碎石によるポーラス舗装



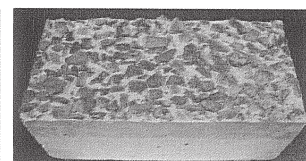
No. 2

②接着剤を使用したコンクリートブロック舗装



No. 3

③洗出しコンクリート平板舗装



No. 4

写真-2 舗装構造体



写真-3 リサイクル舗装材料耐久性試験施設

表-9 接着剤プレコート碎石によるポーラス舗装の配合

材料	配合比 (%)
ウッドセラミックス	50
7号碎石	45
接着剤	5
合計	100

表-10 エポキシ系・非弾性型接着剤の仕様

項目	物性値 (20℃)
密度	1.06g/cm ³
可使時間	15分
指触硬化時間	2.3分
引張強度	7.4MPa (材齢3日)、9.6MPa (材齢7日)
伸び率	100% (材齢3日)
塗膜収縮性	0.8mm

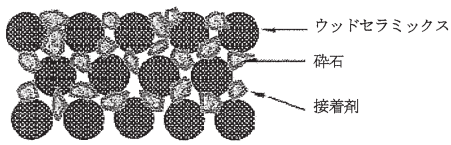


図-18 接着剤プレコート碎石によるポーラス舗装のイメージ

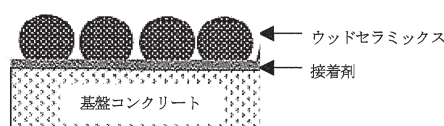


図-19 接着剤を使用したコンクリートブロック舗装のイメージ



図-20 洗出しコンクリート平板舗装のイメージ

表-11 エポキシ系・弾性型接着剤の仕様

項目	物性値 (23℃)
可使時間	120分
引張せん断接着強度	5.4MPa
T型剥離接着強度	3.9N/mm
伸び率	140%

表-12 施工状況

No.	施工面積	舗装構造
1	幅4(m)×長さ2(m)=8(m ²)	①接着剤プレコート碎石によるポーラス舗装
2	幅4(m)×長さ2(m)=8(m ²)	②接着剤を使用したコンクリートブロック舗装
3	幅3.6(m)×長さ1.2(m)=4.32(m ²)	③洗出しコンクリート平板舗装
4	幅3.6(m)×長さ1.2(m)=4.32(m ²)	
0	幅3.6(m)×長さ1.2(m)=4.32(m ²)	密粒度アスファルト混合物(比較用)

4. ウッドセラミックスの舗装への最適な利用形態の検討

4.1 車道舗装への適用性検討

多孔質なウッドセラミックスの吸着特性や、表面に被覆された酸化チタンのNOx除去特性を活かすためには、ウッドセラミックスの表面ができるだけ大気と接するように舗装表面に配置する必要がある。そこで、数種類の舗装材料を考案して作製し、その車道舗装としての耐久性を検討した。

4.1.1 舗装材料の作製

本課題では、表-8及び写真-2に示す舗装材料を作製し、リサイクル舗装材料耐久性試験施設(写真-3)を使用して、舗装の耐久性を評価した。

4.1.2 作製方法

(1) 接着剤プレコート碎石によるポーラス舗装

以下の手順により、現場に直接施工した。配合を表-9に示す。また、接着剤は表-10に示す仕様のエポキシ系で非弾性型のものを使用した。

- ① ベースアスファルト混合物表面に接着剤を塗布し、ウッドセラミックスを敷きならす。
- ② 7号碎石と接着剤を9:1で混合し、ウッドセラミ

ックスの上に敷きならす(隙間に入れる)。

- ③ 2層目のウッドセラミックスを敷きならし、ローラーで軽く点圧する。
- ④ 上記②、③の操作を繰り返して合計5層を形成し、厚さ5cmの舗装とした。

(2) 接着剤を使用したコンクリートブロック舗装

以下の手順によりブロックを作製した。接着剤は表-11に示す仕様のエポキシ系で弾性型のものを使用し、ブロックの寸法は10cm×20cm×厚さ8cmとした。

- ① 型枠に基盤コンクリートを打設する。
- ② 1秒程度表面を加圧する。
- ③ 表面に接着剤を塗布する。
- ④ ウッドセラミックスを投入する。
- ⑤ 5秒程度加圧振動締固めを行う。

現場施工は、ベースアスファルト混合物の上に厚さ2cmの砂を敷きならし、その上にブロックを設置した。

(3) 洗出しコンクリート平板舗装

以下の手順により、コンクリート平板を作製した。寸法は30cm×30cm×厚さ6cmとした。

- ① 型枠に基盤コンクリートを打設する。
- ② 基盤コンクリートの上にウッドセラミックスを骨材として用いた表層コンクリートを厚さ2~3cm程度打設する。
- ③ 表面に凝結遅延剤を塗布する。
- ④ 基盤コンクリート硬化後、表面を高圧水により洗出し、ウッドセラミックスを露出させる。

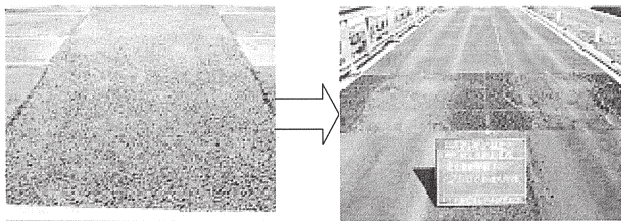
現場施工は、接着剤を使用したコンクリートブロック舗装の場合と同様とした。

4.1.3 耐久性評価

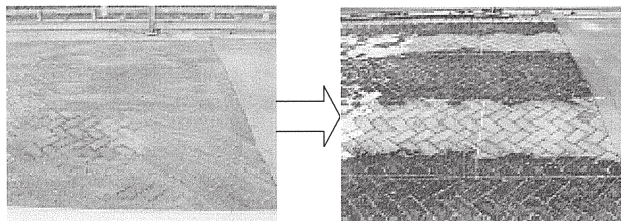
(1) 試験方法

表-8の舗装を写真-3のリサイクル舗装材料耐久性試験施設に施工し、舗装の耐久性評価を行った。リサイクル舗装材料耐久性試験施設は1往復当たり49kN換算4輪相当の試験台車を走行させることにより、舗装の耐久性を調べるものである。

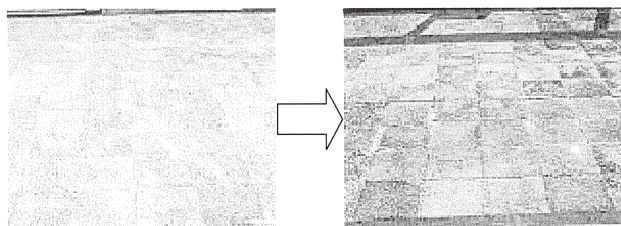
試験条件は、走行速度を15km/hとし、横断方向の車輪走行位置は250往復(49kN換算1000輪)の走行で正規分布となるモードとした。また、比較用として密粒度アスファルト混合物(施工はNo.1と同等の厚さ



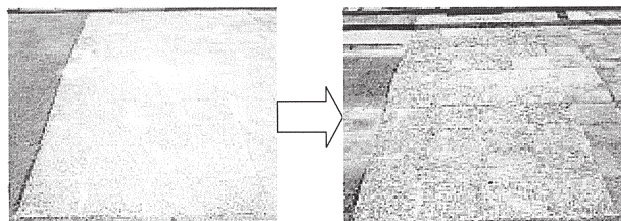
初期
49kN 換算 5万輪後
No. 1 接着剤プレコート碎石によるポーラス舗装



初期
49kN 換算 5万輪後
No. 2 接着剤を使用したコンクリートブロック舗装



初期
49kN 換算 5万輪後
No. 3 洗出しコンクリート平板舗装 (球形ウツセラミックス)



初期
49kN 換算 5万輪後
No. 4 洗出しコンクリート平板舗装 (破碎ウツセラミックス)

写真-4 試験前後の舗装の状況

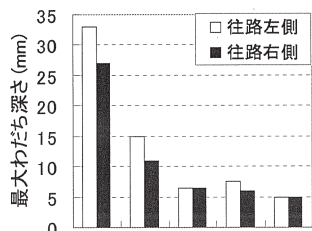


図-21 5万輪 (49kN 換算) 走行後の最大わだち深さ

5cm) についても試験を行った。各舗装の施工状況を表-12 に示す。

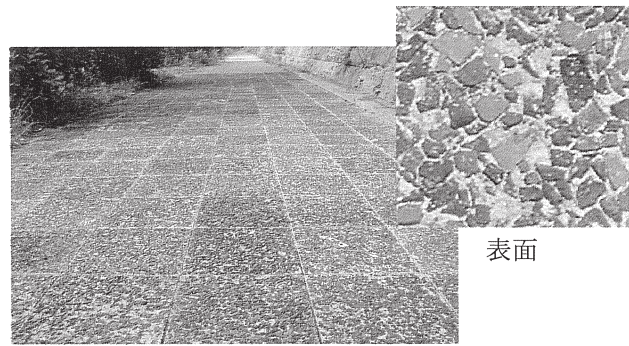


写真-5 施工状況

表-13 路面性状試験

項目	備考
すべり抵抗性	舗装試験法便覧「舗装路面のすべり抵抗の測定方法」
弾力性	舗装試験法便覧「弾力性試験方法 (GB 係数・GB 係数)」

表-14 路面性状試験結果

項目	試験結果		
	施工直後	7ヵ月後	
すべり抵抗性	BPN 値	97.7	83.3
		路面温度 30.5°C	路面温度 5.0°C
弾力性	GB 係数	62.2%	64.1%
	SB 係数	3.1%	6.1%

測定項目は、49kN 換算 5 万輪における最大わだち深さ及び路面損傷状況とした。最大わだち深さは横断プロファイルメーターを用いて測定し、路面損傷状況は目視により観察した。

(2) 試験結果

試験前後の各舗装の状況を写真-4 に示す。No. 1 及び No. 2 の舗装は、走行位置におけるウッドセラミックスのほぼ全てが剥離したことが分かった。洗出しコンクリート平板の No. 3 及び No. 4 は、ブロック端部に多少の損傷が確認されたが、走行位置におけるウッドセラミックスの剥離は少なかった。目視により No. 3 及び No. 4 を観察したところ、No. 3 は No. 4 に比べて 2 倍程度損傷が確認された。

No. 1 は最も空隙割合が高く、NOx 除去能力が最も期待できたが、車道舗装に耐えうるものではなかった。また、接着剤を用いた No. 2 は、洗出し仕上げの No. 3 及び No. 4 に比べて損傷が激しかったことから、接着剤による舗装も車道舗装に耐えうるものではなかった。No. 4 に比べて No. 3 の方が損傷割合が高かったのは、使用したウッドセラミックス形状が球形であったため、破碎形状より接着面積が少なかったためと考えられる。

49kN 換算 5 万輪における最大わだち深さを図-21 に示す。No. 1 のわだち深さは、No. 0 の密粒度アスファル

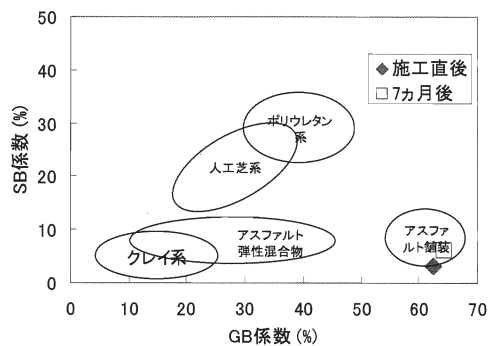


図-22 各種舗装材料と GB・SB 係数の関係⁵⁾

表-15 NOx 除去性能試験条件 3

模擬汚染 空気	供給 NO 濃度	1ppm (0.05ppm 以下の NO ₂ が別に存在)
	流速	0.1m/s
	温度	25°C
	相対湿度	50%
供試体表面の紫外線強度		10W/m ² (波長域: 300~400nm)
測定時間		紫外線照射なし: 30 分 紫外線照射あり: 5 時間
供試体面積		200cm ²
接触空気層の厚み		5mm

表-16 室内 NOx 除去性能試験用供試体

供試体	酸化チタン被覆形態
a	酸化チタン被覆ウッドセラミックスを破砕したものを用いたブロック (写真-6)
b	破砕したウッドセラミックスを用いたブロックの表面全体に酸化チタンを後から被覆したもの (写真-7)
c (比較用)	表面に酸化チタンを被覆した通常のコンクリートブロック (写真-8)
d (比較用)	市販品 (透水性 NOx 除去ブロック)



写真-6
供試体 a

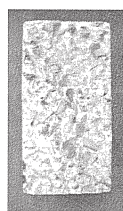


写真-7
供試体 b

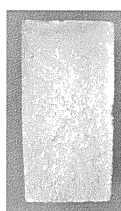


写真-8
供試体 c

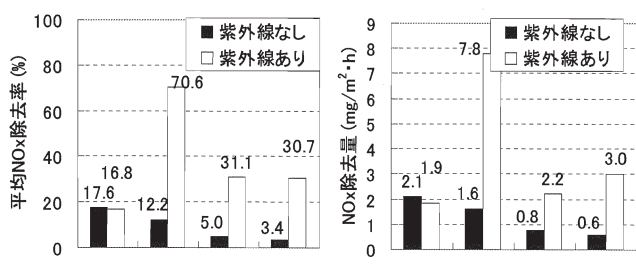


図-23 平均 NOx 除去率

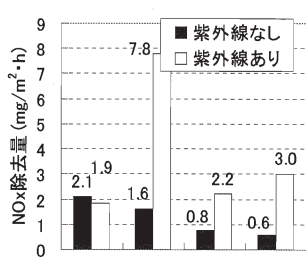


図-24 NOx 除去量

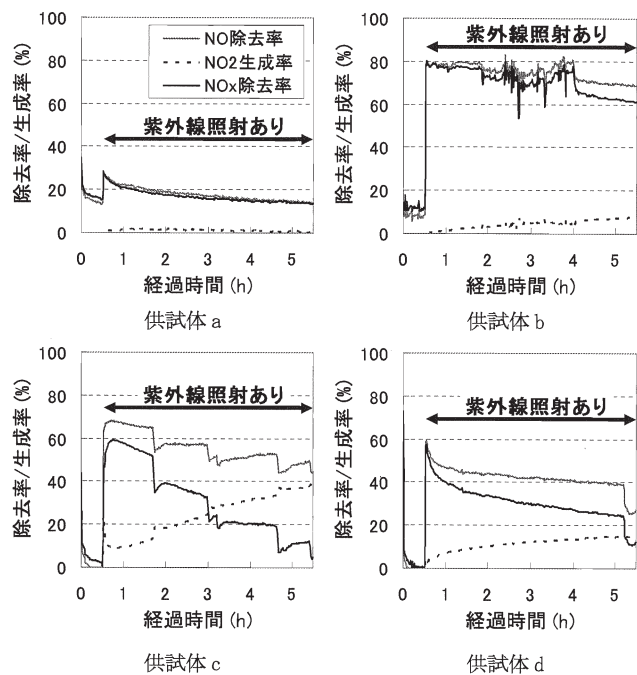


図-25 経過時間と NOx 除去率の関係

ト混合物に比べて非常に大きかった。また、ほぼ全てのウッドセラミックスが剥離した No. 2 も、No. 3 及び No. 4 に比べて 10mm 程度 (ウッドセラミックス直径) わだち深さが大きかった。No. 3 及び No. 4 の最大わだち深さは 6~7mm であり、比較用に施工した密粒度アスファルト混合物 (No. 0) の 5mm より若干大きいものの、良好であると考えられる。

以上より、破砕形状のウッドセラミックスを使用した洗出しコンクリート平板舗装の No. 4 が、最も耐久性に優れる結果となった。ただし、舗装設計施工指針によると舗装計画交通量 100~250 台/日相当の試験は 49kN 換算 15 万輪であり、5 万輪で多少の損傷が発生したことから、重交通に対する耐久性は高くないと考えられ、車道への適用には課題があると考えられる。

4. 2 歩行者系舗装への適用性検討

4. 2. 1 試験方法

4. 1. 3 で最も評価の高かった No. 4 の洗出し平板舗装 (破砕ウッドセラミックス使用) を歩道に適用した場合の路面性状評価を行った。

路面性状を評価するために土木研究所内の歩道に幅 2.5m×長さ 10m に渡り施工し、施工直後及び 7 ヶ月経過後に試験を行った。施工後の状況を写真-5 に、測定項目を表-13 に示す。

4. 2. 2 試験結果

路面性状試験結果を表-14 に示す。BPN 値は施工直後で 97.7、7 ヶ月後で 83.3 を示し、歩道における目標値 40 以上⁴⁾を大幅に超え、非常に滑りにくいことが分か

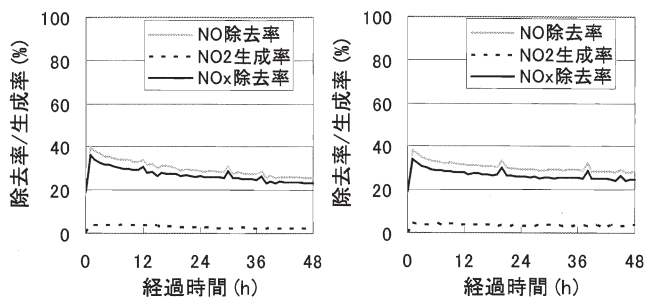


図-26 供試体 a の 48 時間 NOx 除去率
図-27 繰り返し実験による回復性

った。7 ヶ月後に BPN 値が減少しているのは、歩行者の通行により破碎形状のウッドセラミックスが磨耗したためと考えられる。

弾力性については、GB 係数が施工直後で 62.2%、7 ヶ月後で 64.1%であった。各種舗装材料と GB・SB 係数の関係を示す図-22 より、アスファルト舗装と似た衝撃吸収性があると考えられる。

以上の結果より、ウッドセラミックスを用いた舗装は、すべり摩擦係数が若干高いものの、歩道においては概ね問題なく適用できることが分かった。しかし、歩行者の通行による表面の磨耗が考えられることから、供用後の路面性状や NOx 除去性能等の評価を行う必要があると考えられる。

5. ウッドセラミックスを適用した舗装の NOx 除去特性

5.1 概要

4.1.3 で最も耐久性の高かった舗装ブロック（平板）を適用した場合、どの程度の NOx 低減効果が得られるかを評価するために、室内試験や屋外試験により NOx 除去性能を測定し、3次元流体解析により実環境における低減効果の予測を行った。

5.2 NOx 除去性能の測定

5.2.1 室内試験

(1) 試験方法

3.3.2 で酸化チタンを被覆したウッドセラミックス単体の NOx 除去性能を測定したが、ここでは、舗装ブロックに適用した状態の NOx 除去性能を測定した。

試験は、JIS R 1701-1「ファインセラミックス-光触媒材料の空気浄化性能試験方法-第1部:窒素酸化物の除去性能」を参考とし、図-12 の反応セルを用いて行った。試験条件を表-15 に示す。

ここで、光触媒の被覆形態を検討するために、表-16 及び写真-6~8 に示す供試体について試験を行った。被覆方法は、3.3.1 (3) で得られた条件とした。

表-17 屋外 NOx 除去性能試験条件

汚染空気流速	0.1m/s
測定時間	24 時間
供試体面積	200cm ²
接触空気層の厚み	5mm

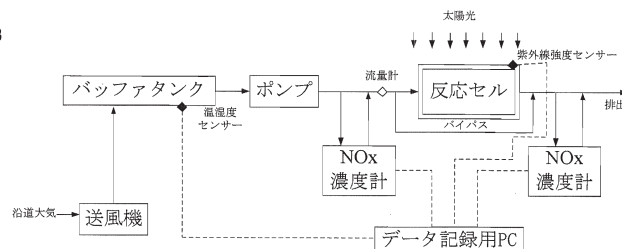
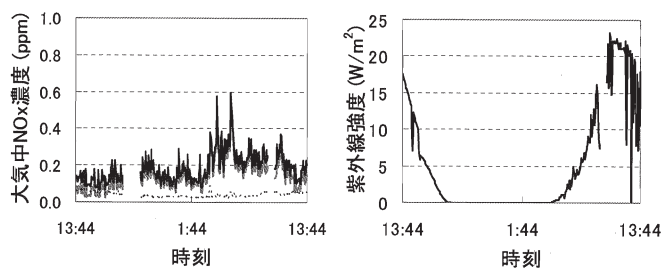
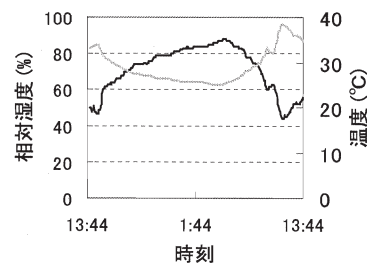


図-28 屋外 NOx 除去試験装置の概要図



(a) 大気中 NOx 濃度 (b) 紫外線強度



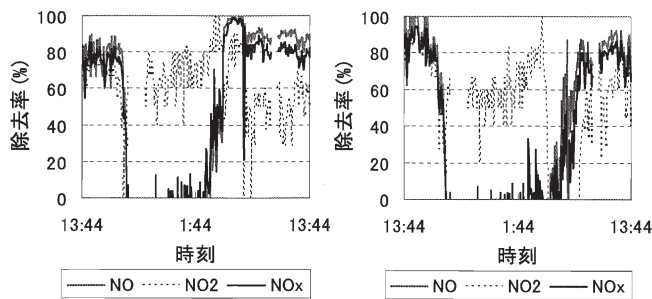
(c) 相対湿度及び温度

図-29 屋外試験の環境

また、長時間の NOx 除去性能を調べるために、供試体 a について、紫外線照射を 48 時間とした試験を別途行った。更に、雨水等による回復性を調べるために、試験後に 1 時間の蒸留水浸漬を 2 回行った後に、再度 48 時間の NOx 除去性能試験を行った。

(2) 試験結果

室内 NOx 除去性能試験より得られた平均 NOx 除去率を図-23、NOx 除去量を図-24 に示す。ここで、NOx 除去量は式(5)~(7) (3.3.2 (2)) により算出した。紫外線がある場合では、供試体 b が最も NOx を除去し、供試体 a が最も NOx 除去能力が低かった。供試体 a は、酸化チタン被覆後に破碎したウッドセラミックスが使用されていることから、酸化チタンの被覆されていない面が生じているためと考えられる。



供試体 b ウッドセラミックスブロック
 供試体 d 市販 NOx 除去ブロック
 図-30 時刻と NOx 除去率との関係

一方、紫外線がない場合では、供試体 a が最も NOx を除去することが分かった。酸化チタンの被覆は、ウッドセラミックスの細孔を減少させると考えられるが、破碎面には被覆がないため細孔が多く存在し、吸着がより効果的に行われたと考えられる。

経過時間と NOx 除去率との関係を図-25 に示す。ウッドセラミックスを用いた供試体 b は c 及び d に比べて人体に有害な NO₂ の生成率が低かった。これは光触媒反応によって NO から生じた NO₂ が、ウッドセラミックスにより吸着されたためと考えられる。

供試体 a の 48 時間 NOx 除去試験結果を図-26 に示す。試験開始直後の NOx 除去率 36% に対し、48 時間後でも 23% を示し、高い NOx 除去容量を有すると考えられる。

蒸留水浸漬後の結果を図-27 に示す。洗浄後には NOx 除去率は 34% を示し、雨水等による十分な性能回復が確認できた。

以上の結果より、酸化チタンの被覆はブロック製造後、ブロック表面全体に行うものが最良と判断し、以降このように被覆することとした。

5. 2. 2 屋外試験

(1) 試験方法

5. 2. 1 の室内試験は、測定環境が表-15 に示す一定条件のもとで行われたものである。実際には供給 NOx 濃度及び紫外線強度、温湿度等は徐々に変化することから、ここでは屋外における NOx 除去性能試験を行った。

供試体は、5. 2. 1 で最良と判断した供試体 b 及び比較用として供試体 d (市販品) を使用した。

試験は、図-28 に示す装置を使用し、平成 17 年 8 月 17 日から 18 日にかけて東京都品川区の国道 357 号線沿いで行った。天候は晴れであった。試験条件を表-17 に示す。

(2) 試験結果

試験時の大気中 NOx 濃度及び紫外線強度、温湿度を

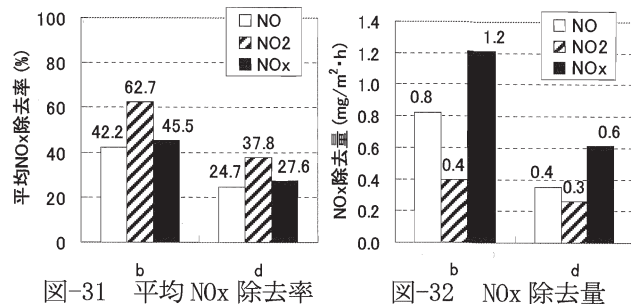


図-31 平均 NOx 除去率

図-32 NOx 除去量

図-29 に示す。大気中 NOx 濃度は 0.1~0.6ppm、紫外線強度は 0~23W/m²、相対湿度は 45~85%、温度は 25~39℃の範囲で変動した。

時刻と NOx 除去率の関係を図-30 に示す。紫外線強度がゼロのとき (夜) は、NO、NOx 除去率は低い値を示しているが、紫外線強度が増加すると、光触媒反応が生じることから NO、NOx 除去率が增加することが分かった。NO₂ 除去率に関しては、紫外線強度によらなかった。

平均 NOx 除去率を図-31、NOx 除去量を図-32 に示す。NO、NO₂、NOx いずれにおいても、供試体 d (市販品) よりもウッドセラミックスを使用した供試体 b の方が高い除去性能を示した。

以上の結果より、供試体 b の NOx 除去量は 1.2mg/(m²·h) に留まり、室内試験 (7.8mg/(m²·h)) に比べて大きく低下したが、NOx 除去率を見れば、太陽光が照射すれば 70~80% と高い低減率を示すことが分かった。

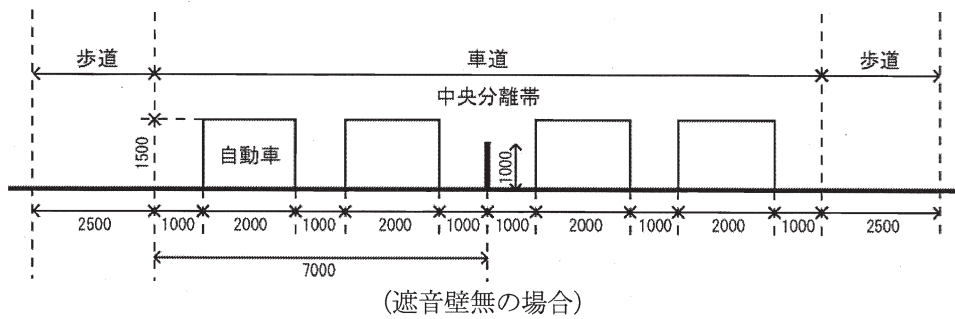
5. 3 3次元流体解析による NOx 低減効果のシミュレーション

(1) シミュレーション計算方法

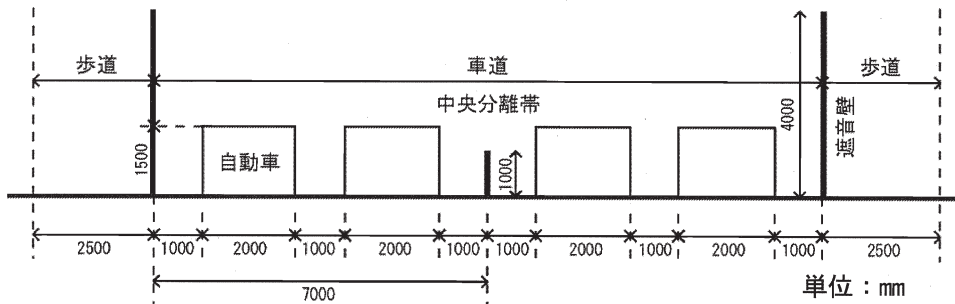
ウッドセラミックスを用いた NOx 除去ブロックの NOx 除去性能を室内試験及び屋外試験により求めたが、これは反応セル内の接触空気層の厚さ 5mm という狭い空間における値である。実際はこのような閉空間ではないことから、実際に施工した場合の NOx 低減効果を推定するために、3次元流体解析によるシミュレーションを行った。

ここでは、図-33、図-34 に示すような、片側 2 車線で両側に歩道を有する幹線道路を模した道路構造物を設定し、紫外線強度が 10W/m²、温度 25℃、相対湿度 50% における渋滞時の NOx 低減効果の推定を行った。

シミュレーションの検討ケースは、表-18 の 5 ケースとした。道路構造は遮音壁有無の 2 種類とし、NOx 除去性能を 0 (使用しない場合)、10 mg/(m²·h) (NOx



(遮音壁無の場合)



(遮音壁有の場合)

単位：mm

図-33 道路構造条件

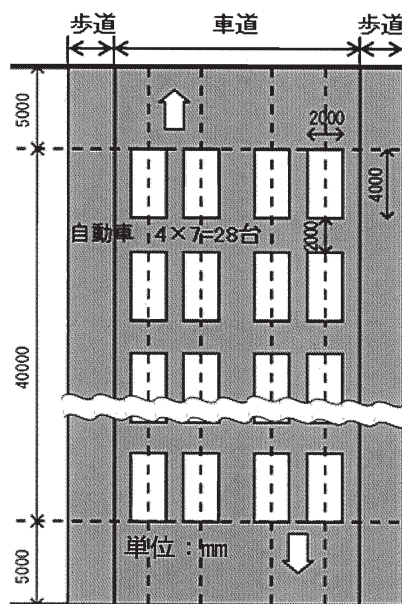


図-34 自動車の配置条件

表-18 検討ケース

性能 構造	NOx 除去性能 (mg/(m ² ・h))		
	0	10	30
遮音壁無	case1	case2	case3
遮音壁有	case4		case5

除去ブロックの性能；厳密には図-24 より 7.8mg/(m²・h)だが、ここでは 10 mg/(m²・h)とした、30 mg/(m²・h) (3 倍の性能を想定した場合) の 3 種類とした。4. 1. 3 より、現段階のブロックは重交通の車道に対する耐久性に課題が残るが、ここでは車道と歩道両方に

設置し、遮音壁がある場合はこれに加えて遮音壁・中央分離帯を同性能の塗料により被覆するものとした。

計算モデルは 1 辺 50m の立方体とし、計算メッシュは $x \times y \times z = 70 \times 50 \times 54 = 189,000$ 個とした (図-35)。計算条件を表-19 に示す。

また、車 1 台当たりの NOx 排出強度、排気ガス排出速度は以下の式により計算した。ここで、自動車は 20km/h 走行状態で排気ガスを排出するものとし、大型車混入率は 30%、排気管の内径は 6cm、NOx 排出係数、排気ガス排出量は文献を基に設定した⁶⁾⁷⁾。NOx の拡散係数は表-20 に示す通りに設定した。

NOx 排出強度(g/(s・台))

$$= \text{NOx 排出係数(g/(km・台))} \times \text{走行速度(km/s)}$$

$$= 1.61 \times 20 / 3600 = 8.944 \times 10^{-3} \quad \dots\dots\dots(8)$$

排気ガス排出速度(m/s)

$$= \frac{\text{排気ガス排出量(m}^3\text{/km)}}{\text{排気管の断面積(m}^2\text{)}} \times \text{走行速度(km/s)}$$

$$= 1.33 / 0.00283 \times (20 / 3600) = 2.61 \quad \dots\dots\dots(9)$$

(2) 検討結果

NOx 除去ブロック等を施さなかった場合 (case1、case4) の x-z 面 (y=24.5m) における NOx 濃度分布図を図-36 に示す。車道路面付近が最も NOx 濃度が高く、遮音壁のない場合で最大 0.35~0.40ppm、遮音壁のある場合で最大 0.30~0.35ppm 程度になることが分かった。

表-19 計算条件

項目	内容	
プログラム名	PHOENICS Version3.6.1	
乱流モデル	k-ε モデル	
時間依存性	定常計算	
境界条件	流入面	風速=2.0m/s (定常風) (図-30 参照)
	地面	滑り壁 (出入りや摩擦のない壁)
	その他の面	圧力規定一定
計算回数	10,000 回	
その他	空気密度: 一定 バックグラウンド NOx 濃度: ゼロ	

表-20 拡散係数⁸⁾

	車道外		車道内	
	水平方向	鉛直方向	水平方向	鉛直方向
遮音壁無	20.7	4.1	36.5	6.1
遮音壁有	16.5	3.3		2.3

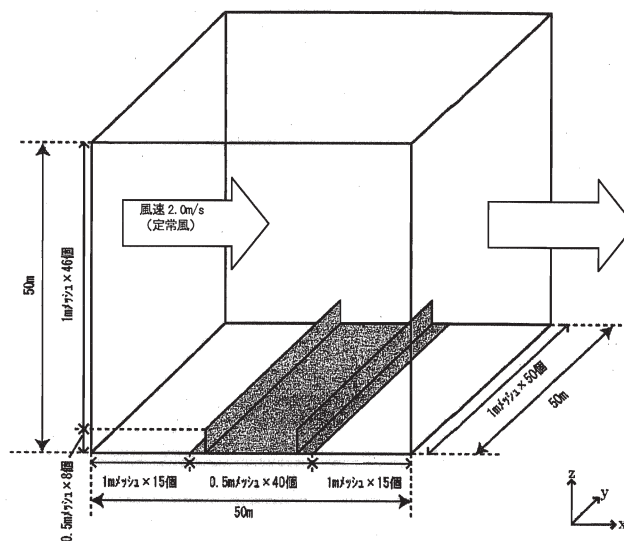
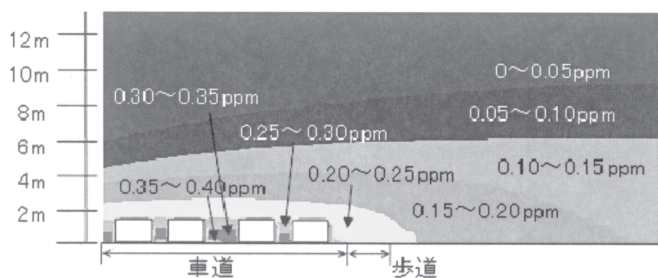
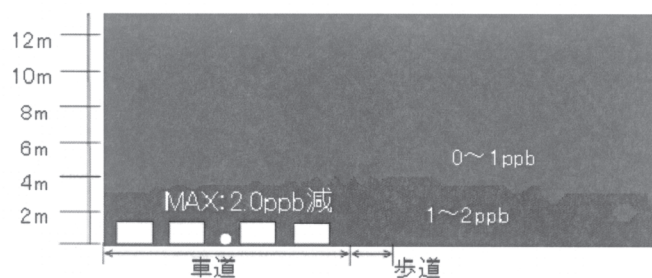


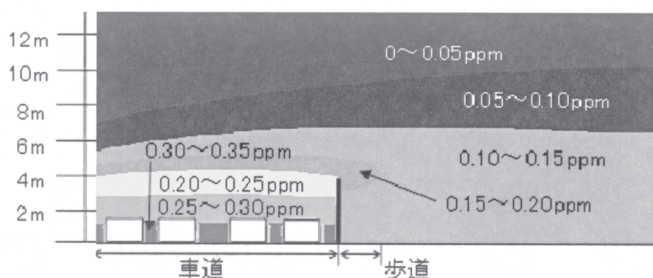
図-35 計算モデル (遮音壁有の場合)



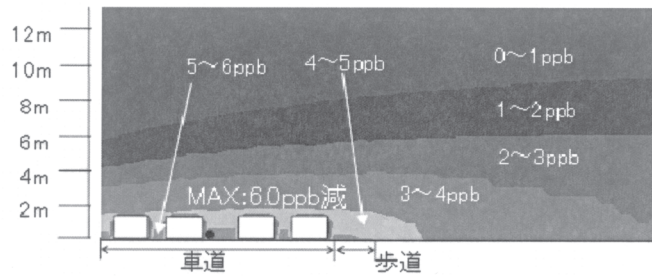
(a) 遮音壁無 (case1)



(a) 10mg/(m²・h) の効果
遮音壁無 (case2)



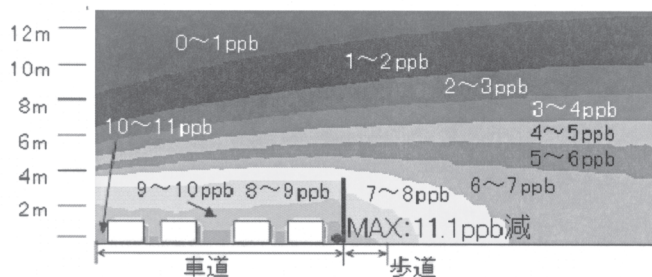
(b) 遮音壁有 (case4)



(b) 30mg/(m²・h) の効果
遮音壁無 (case3)

図-36 NOx 濃度分布

NOx 除去材料を施した場合の結果を、NOx 低減効果を見るために case1、case4 との差として示したものを図-37 に示す。NOx 除去ブロック等を施した場合と施さなかった場合の差は路面付近で大きくなり、遮音壁がない場合は NOx 除去性能が 10mg/(m²・h) で最大約 2ppb、30mg/(m²・h) で最大約 6ppb、遮音壁がある場合は 30mg/(m²・h) で最大約 11ppb NOx 濃度が低減する結果となった。これより、遮音壁がある場合のように、風の滞留が起こる場合の方が NOx 低減効果が得られやすいことが分かった。



(c) 30mg/(m²・h) の効果
遮音壁有 (case5)

図-37 NOx 除去ブロック等を施した場合と施さなかった場合の差

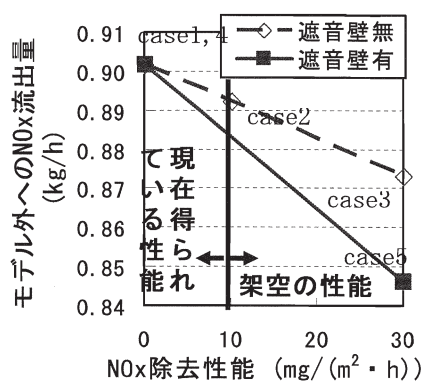


図-38 モデル外へのNOx流出量

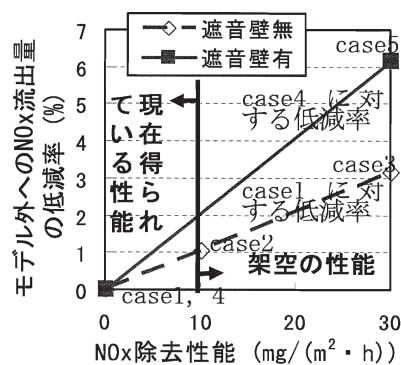


図-39 モデル外へのNOx流出量低減率

次に、各 case の計算モデル（図-35）外へのNOx流出量を図-38に示す。NOx除去ブロック等を施さなかった場合は約0.9kg/hのNOxがモデル外に流出することが分かった。

各 case の計算モデル外への低減率を図-39に示す。NOx除去ブロック等を施すと、遮音壁がない場合ではNOx除去性能が10mg/(m²・h)で約1%、30mg/(m²・h)で約3%NOxの流出量を低減できることが分かり、これはモデル内の自動車28台中0.3、0.9台分に相当した。一方、遮音壁がある場合ではNOx除去性能が30mg/(m²・h)で約6%NOxの流出量を低減できることが分かり、モデル内の自動車28台中1.7台分に相当する結果となった。

以上の結果より、本課題で得られたNOx除去ブロックでは、遮音壁がない場合で自動車28台中0.3台分、性能が3倍に向上したとしても遮音壁がある場合で1.7台分の低減効果に留まった。更に、これらの値は表-19に示したように一定の条件で計算されたものであり、実際は場所によって紫外線強度が異なることや、3.3.2や5.2.2の結果より濃度や風速によって除去性能が影響を受けることなどを考えると、実際のNOx低減効果はこれを下回るものと考えられる。

従って、NOxによる環境汚染を軽減するためには、NOx除去ブロックによる対策のみでは十分な効果を得ることが難しく、他の技術も組み合わせた総合的な検討が必要であると考えられる。

6. まとめと今後の課題

本課題では、廃木材を炭化して得られるウッドセラミックスに光触媒の酸化チタンを被覆させ、それを用いて、大気汚染物質浄化型舗装の開発を行った。

本課題の成果をまとめると、以下の通りである。

- ① ウッドセラミックスの力学的特性
 - ・原料MDFの種類により、ウッドセラミックスの力学的性状が異なることが分かった。
 - ・ウッドセラミックスは舗装用骨材としての強度等是有しているものの、特異な性質のため利用には工夫が必要と考えられた。
 - ・ウッドセラミックスは下層路盤材料に利用可能であり、車道透水性舗装等への利用可能性が考えられた。
- ② 酸化チタンを被覆したウッドセラミックスのNOx除去特性
 - ・高いNOx除去性能が得られる最適なウッドセラミックス表面への酸化チタン被覆方法が分かった。
 - ・周囲のNOx濃度が高いほど、高いNOx除去性能を示すことが分かった。
 - ・表面に接触するNOxガスの流速が大きいほど、高いNOx除去性能を示すことが分かった。
 - ・紫外線強度が2.5~20W/m²の範囲では、NOx除去性能に差がないことが分かった。
 - ・吸着特性により、紫外線がない状態でも多少のNOx除去性能を示すことが分かった。
 - ・ある程度相対湿度がある方がNOx除去性能が高いことが分かった。
 - ・温度が高くなると、NOx除去性能も高くなる傾向を示すことが分かった。
- ③ 最適な舗装への利用形態及び耐久性
 - ・リサイクル舗装材料耐久性試験の結果、洗出しブロック（平板）舗装が、ウッドセラミックスの最適な舗装への適用形態であることが分かったが、重交通に対する耐久性は高くないことが分かった。
 - ・歩行者系舗装への適用は、概ね問題がないことが分かった。
- ④ ウッドセラミックスを用いた舗装のNOx除去性能
 - ・ブロック作製後に酸化チタンの被覆を行うことが、NOx除去性能の面で最適であることが分かった。

- ・蒸留水による洗浄により、NOx 除去性能が回復できることが分かった。
- ・国道 357 号線沿いで NOx 除去性能を測定した結果、室内試験の値を下回ったが、太陽光の照射時に 70～80%の高い NOx 除去率を示すことが確認できた。

⑤ 3次元流体解析による NOx 低減効果の推定

- ・上記ブロックの NOx 除去効果は 1%、自動車 28 台中 0.3 台分に相当することが分かった。
- ・遮音壁のある条件で 3 倍に性能が向上した場合でも、NOx 除去効果は 6%、自動車 28 台中 1.7 台分に留まり、本技術のみによる対策では十分な効果を得ることは難しく、他の技術と組み合わせた総合的な対策が必要であることが分かった。

本課題では、ウッドセラミックスを用いた NOx 除去舗装の長期劣化、供用劣化に関する検討は完了していない。従って、長期間暴露後及び供用中のブロック（写真-5）の、NOx 除去特性を含む各種性状試験を定期的に行う必要があると考えられる。

また、製造コストについては、通常のコンクリート平板舗装に比べて 5 倍程度の費用を要した。5. 3 の解析結果より費用対効果の面で課題があり、実用化にはコスト削減等の検討も行う必要があると考えられる。

参考文献

- 1) 岡部敏弘監修：木質系多孔質炭素材料ウッドセラミックス、内田老鶴圃、1996
- 2) (財)日本規格協会：JIS R 1701-1 ファインセラミックス-光触媒材料の空気浄化性能試験方法-第 1 部:窒素酸化物の除去性能 解説、2004
- 3) 前田裕行 他：拡散型フロン・有機塩素サンプラーに対する温湿度の関係、横浜市環境科学研究所報 No. 20、pp. 13-18、1996
- 4) (社)日本道路協会：舗装設計施工指針、2006
- 5) (財)日本体育施設協会屋外体育施設部会：屋外体育施設の建設指針、1987
- 6) 国土交通省国土技術政策総合研究所：国土技術政策総合研究所資料第 141 号 自動車排出係数の算定根拠、2003. 12
- 7) (社)日本道路協会：道路トンネル技術基準（換気編）・同解説、2001
- 8) (財)道路環境研究所：道路環境影響評価の技術手法、2000