

## 樹脂系混和材料を用いたセメントペースト・土系舗装材の基礎検討

西澤 彩 片岡 弘安 川西 貴士  
平田 隆祥 小嶋 匠 掛札 さくら  
(大林道路技術研究所) (大林道路技術研究所)

## Basic Studies of Cement Paste and Soil Paving Material Using Resin-Based Admixture

Aya Nishizawa Hiroyasu Kataoka Takashi Kawanishi  
Takayoshi Hirata Takumi Kojima Sakura Kakehuda

### Abstract

Cement paste added resin-based admixture, hereinafter referred to “Resin Cement Paste”, and soil added the resin-based admixture, hereinafter referred to “Resin Soil” are developing. This resin-based admixture has the feature of hardening in the water. In this study, the fundamental physical properties of Resin Cement Paste were examined, and Resin Soil was applied to a pavement. Resin Cement Paste has a high bending strength by approximately 2.2 times compared to that in the case without the resin, when the resin volume ratio was 30 vol.%. Resin Soil exhibited a higher compressive strength than soil added a general epoxy resin. Conventional soil paving material are used as pedestrian pavement. However, Resin Soil could be used as pavement of parking space. Soil paving material that combines landscape and durability was realized. It was able to widen soil pavement applicability.

### 概要

本研究は、水分を含む材料と混合しても硬化性能が低下しない樹脂系混和材料を用いて、樹脂系混和材料を添加したセメントペーストの基礎物性、および樹脂系混和材料を固化材として用いた土系舗装材の適用性を検討した。樹脂系混和材料を添加したセメントペーストは、樹脂の体積比率が30vol.%の場合に、樹脂を混入しない場合に比べて、曲げ強度が約2.2倍に向上した。樹脂系混和材料を用いた土系舗装材は、一般的なエポキシ樹脂を用いた土系舗装材に比べて、著しく高い圧縮強さを示した。従来の土系舗装は、歩道用の舗装として用いられていたが、本樹脂を固化材として用いた土系舗装材料は、駐車場などの乗用車が乗り入れる箇所の舗装にも使用できる。景観性と耐久性を併せ持つ土系舗装が実現でき、土系舗装の適用範囲を拡大できた。

## 1. はじめに

樹脂は単体で使用する場合と、他の材料を混合して硬化する場合とがある。樹脂に混合する材料は、セメントや有機繊維、ガラス繊維、ゴムチップなどがあり、様々な性能を付加できる複合体として建設分野でも多く用いられている。この中で、本研究では屋外でを使用することを想定し、耐酸・耐アルカリ性や、汎用性に優れるエポキシ樹脂に着目した。

エポキシ樹脂は、補修鋼板の接着や、防水防食塗装、各種ライニング、鉄筋継手部の充填、コンクリート構造物の補修などに用いられている<sup>1)</sup>。しかし従来のエポキシ樹脂は、水が混入しないよう留意し、混合する材料は乾燥状態にする必要があった。これは、エポキシ樹脂が硬化する過程で水分が含まれると、硬化性能が低下するためである<sup>2)</sup>。また、エポキシ樹脂は、特有の臭気を有しており、作業環境が悪化する場合があった。

そこで、本研究は、水環境下でも硬化性能が低下せず、かつ臭気がほとんどない変性エポキシ樹脂を用いて、それを樹脂系混和材料としてセメントペーストおよび自然

含水比の土に混合し、固化材としての性能を基礎的に検討した。さらに、樹脂系混和材料と混合した土を土系舗装として駐車場を施工し、耐久性の高い景観舗装としての適用性について検討した。

## 2. 樹脂系混和材料の基礎物性

### 2.1 樹脂系混和材料の概要

使用した樹脂は、2液混合型の変性エポキシ樹脂で、主剤が液状エポキシ樹脂(以下、主剤)で、硬化剤が変性脂肪族ポリアミン(以下、硬化剤)である。一般的なエポキシ樹脂と比較し、水中で硬化性能を維持するため、硬化剤の成分を変性させた。主剤と硬化剤の混合質量比率は6:4である。

### 2.2 樹脂系混和材料の硬化前の物性

2.2.1 比重 硬化前の主剤と硬化剤の混合物の比重を測定した。試験方法は、JIS K 7112-1999「プラスチック-非発泡プラスチックの密度及び比重の測定方法」のB法(ピクノメータ法)に従った。測定は規定に従い25℃の

Table 1 可使時間の測定結果  
Measurement Results of Pot Life

試験方法	試験規格	試験温度	試料容積/質量	開始時粘度	立ち上がり点/最高発熱到達時間	可使時間	試験終了時の状態
粘度試験法	JIS K 6870 「多成分接着剤のポットライフ(可使時間)の求め方」	25℃	50g	2900 mPa・s	-	58分20秒	開始時の2倍の粘度
温度上昇法	舗装調査・試験法便覧C014T 「樹脂系舗装用バインダの可使時間試験方法」	20℃	300g	-	60分	42分	120分後、完全に硬化
		10℃	300g	-	265分	133分	380分後、完全に硬化
		5℃	300g	-	なし	-	180分後、未硬化

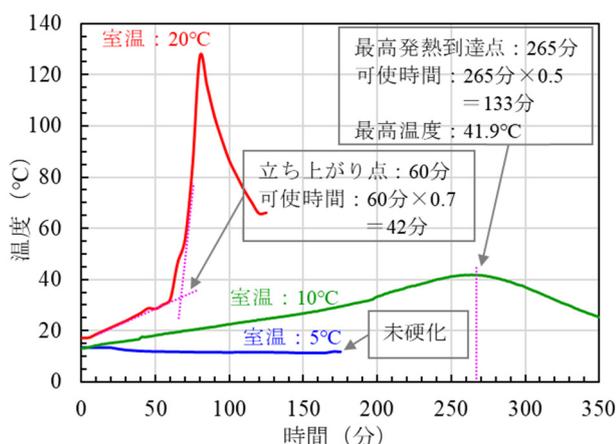


Fig. 1 硬化発熱温度の測定結果

Measurement Result of Curing Exothermic Temperature

室温で行った。

測定結果は1.13であり、1.0以上であることから、水中で樹脂は沈殿する。

**2.2.2 可使時間** 可使時間の測定は、粘度試験法と温度上昇法の2つの方法で行った。粘度試験法では初期の粘度を測定し、接着剤の分野で一般的に用いられる方法である。一方、温度上昇法では環境温度を設定して測定でき、屋外で施工する舗装分野において一般的に用いられる方法である。

粘度試験法による可使時間の測定は、JIS K 6870-2008「多成分接着剤のポットライフ(可使時間)の求め方」に準拠した。規定に従い、開始時粘度から2倍の粘度になるまでの時間を可使時間とした。試料は主剤と硬化剤を合わせて50gを混合した。測定は、規定に従い25℃一定の水中で行った。測定装置のローター回転数は10rpmである。測定結果をTable 1に示す。可使時間は58分20秒であり、開始時粘度は2試料の平均で2900mPa・sであった。

温度上昇法による可使時間の測定は、舗装調査・試験法便覧<sup>3)</sup>C014T「樹脂系舗装用バインダの可使時間試験方法」に準拠した。試験時の室温は、20℃、10℃、5℃の3点とした。規定に従い、樹脂の主剤と硬化剤を合わせて300g混合し、1分間練り混ぜた。樹脂試料の中央部に温度計を入れて硬化発熱温度を測定し、可使時間を算出した。

可使時間の算出方法は次の通りである。

a) 急激な発熱ピークが認められる場合  
可使時間=立ち上がり点(分)×0.7  
立ち上がり点: 立ち上がり前の接線と立ち上がり後の接線の交点

b) 急激な温度上昇が認められない場合  
可使時間=最高発熱到達点(分)×0.5

室温ごとの測定結果をFig. 1に、算出した可使時間をTable 1に示す。Fig. 1より室温が20℃の場合は明確な温度の立ち上がりがあったが、室温10℃の場合は明確な立ち上がりがなく、265分後に最高温度に達した。室温5℃では試験開始から180分後においても温度上昇がみられず、未硬化であった。外気温が5℃の環境で使用する場合は、主剤と硬化剤を混合する前に加温しておく必要があると考える。

これらの試験は樹脂単体の可使時間を測定するものであるが、本樹脂系混和材料は、水分を含む材料と混合して硬化するため、練り混ぜる混合物に水分が含まれる場合は、その混合物を用いて可使時間を確認する必要がある。

**2.3 樹脂系混和材料の硬化後の物理的性質**

**2.3.1 比重** 樹脂系混和材料の硬化物の比重を測定した。試験方法は2.2.1節と同様に、JIS K 7112-1999「プラスチック-非発泡プラスチックの密度及び比重の測定方法」のB法に準拠した。試験結果をTable 2に示す。

**2.3.2 圧縮降伏強さ** 試験方法は、JIS K 7181-2011「プラスチック-圧縮特性の求め方」に準拠した。試験体の形状は、B形(10×10×4mm)とし、試験体数はn=5とした。試験温度は23℃とした。試験結果をFig. 2に示す。圧縮降伏強さの平均値は98.3MPaであり、Fig. 2より脆性的に破壊せず、圧縮応力が60MPa程度で持続した状態で圧縮ひずみが大きくなるのがわかる。これは降伏を伴う樹脂材料に多く見られる挙動であるが、降伏後に樹脂が変形し、載荷板との接地面積が増大することが原因であると考えられる。

**2.3.3 引張強さ、引張破壊ひずみ、引張弾性係数**  
試験方法は、JIS K 7161-2014「プラスチック-引張特性の求め方-第2部」に準拠した。試験体の形状は、1B形試験片(ダンベル形、幅の狭い平行部の長さ60mm)とし、試験体数はn=5とした。試験温度は規定に従い23℃とし

た。

試験結果をTable 2およびFig. 3示す。引張強さは67.0 MPaであり、一般的なエポキシ樹脂と同等であった。引張弾性率は3.19GPaであり、一般的なエポキシ樹脂が約2.4GPaに対してやや高く、引張破断ひずみは3.0%であった。このことから引張力が生じた際に、変形が小さいため、複合体組成物に用いた際に、荷重に対する変形が小さいと考えられる。

**2.3.4 引張せん断接着強さ** 試験方法は、JIS K 6850-1999「接着剤-剛性被着材の引張せん断接着強さ試験方法」に準拠した。これは、接着面に平行な引張りせん断荷重により測定する試験方法である。基材は鋼板を用い、接着部は規定に従い長さ12.5mm、幅25mmとした。試験体数はn=5とした。試験温度は規定に従い23℃とした。試験体を気中で作製し、直後に水中に浸漬して7日間養生したもの、試験体を気中で作製し、気中で7日間養生したものの2種類の試験を行った。試験結果をTable 2に示す。水中養生の場合も気中養生の場合に近い引張せん断強さを示した。水中養生の場合に水中に樹脂が溶出することは見られなかった。

**2.4 樹脂系混和材料の水質への影響**

樹脂系混和材料の硬化物の水質への影響を確認するため、日本水道協会規格<sup>4)</sup>JWWA Z 108-2016「水道用資機材-浸出試験方法」に従い水質試験を行った。この試験方法は、厚生労働省令第15号(水道施設の技術的基準を定める省令)を受けて、水道施設に使用される資機材等の衛生性が浸出基準として明確化されたことに伴い、規定されたものである。本試験は、重金属、界面活性剤などの45項目に対して、すべての項目が規定値未満であれば、「合格」となる。本樹脂系混和材料の硬化物は、試験の結果「合格」であった。屋外で供用する建設資材に本樹脂を用いても、有害物質が溶出することなく、水質に影響を及ぼさないことがわかった。

**2.5 樹脂系混和材料の硬化物の燃焼時ガス有害性**

樹脂系混和材料の硬化物の燃焼時の有害性を確認するため、日本建築総合試験所制定「防耐火性能試験・評価業務方法書」<sup>5)</sup>の4.10.3ガス有害性試験方法を実施した。この試験は、建築基準法第2条第九号「不燃材料」の規定に基づく認定にかかる性能評価である。本樹脂は「合格」であった。

**3. 樹脂系混和材料を用いたセメントペーストの材料特性**

**3.1 目的**

樹脂をモルタルに混合するポリマーセメントモルタル(以下、PCM)は、接着強さおよび曲げ強さが高く、劣化因子の侵入に対する抵抗性に優れた材料であるため、補修材料として多く用いられている<sup>6)</sup>。補修材料の劣化因子

Table 2 樹脂系混和材料の硬化物の物理的性質  
Physical Properties of Cured Products of Resin-Based Admixture

試験項目	試験方法 (JIS)	試験結果
硬化物の比重	K 7112	1.19
圧縮降伏強さ	K 7181	98.3 MPa
引張強さ	K 7161	67.0 MPa
引張破断ひずみ	K 7161	3.0%
引張弾性率	K 7161	3.19 GPa
引張せん断接着強さ(気中作製-気中養生)	K 6850	10.7 MPa
引張せん断接着強さ(気中作製-水中養生)	K 6850	9.15 MPa

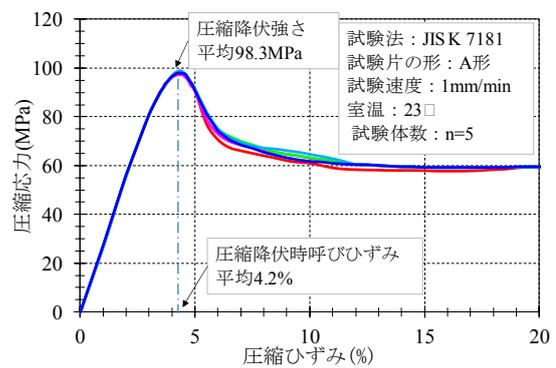


Fig. 2 圧縮応力と圧縮ひずみの関係  
Relationship Between Compressive Stress and Compressive Strain

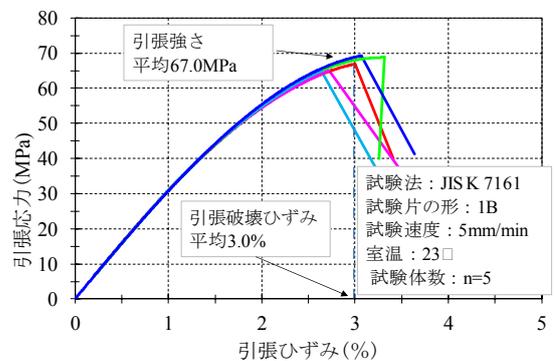


Fig. 3 引張応力と引張ひずみの関係  
Relationship Between Tensile Stress and Tensile Strain

の侵入抵抗性を向上させることで、補修断面を薄くすることが可能になると考える。劣化因子の侵入抵抗性を向上させるためには、硬化物の組織を緻密にすることが効果的であり、低水セメント比の配合を用いることが有効である。しかし、低水セメント比の配合の場合、圧縮強さに対する曲げ強さが小さくなり、脆性的に破壊することが知られている<sup>7)</sup>。

そこで、低水セメント比のPCMの曲げ強さを向上させることを目的として、2章の樹脂系混和材料を混合したセ

メントペースト(以下、PCP)の材料特性を確認した。ここでは、PCPのセメント、水、樹脂の配合比率を変化させた試験体を用いて、圧縮強さ、曲げ強さを測定し、配合と強度の関係を確認した。また、強度試験終了後に一部の試験片を用いて、PCP中の樹脂の分散状態を電子顕微鏡で観察した。

### 3.2 使用材料とモルタルの配合

使用材料を Table 3 に示す。セメントは普通ポルトランドセメントを、水は上水道水を用いた。混和剤はポリカルボン酸系高性能減水剤を用いて、セメント量に対する質量比率で外割添加した。

検討した PCP の配合を Table 4 に示す。配合は、樹脂および水の体積比率を変化させ、樹脂の体積比率は、0, 10, 20, 30, 40vol.%の5水準とした。水の体積比率を15~50%の範囲で5%ずつ変化させた。また、樹脂を添加しない普通セメントペーストは、練混ぜ可能な水の体積比率を考慮して、水の体積比率33vol.%を最小値とした。

### 3.3 練混ぜ方法

PCPの練混ぜは、ホバート式の容量5Lのモルタルミキサを用いて行った。水、セメント、高性能減水剤を入れて、低速(140回転/分)で30秒、高速(285回転/分)で30秒練り混ぜ、かき落としを行った後、高速で1分間練り混ぜた。あらかじめ、樹脂の主剤に硬化剤を加えて、回転翼式攪拌機で1分間攪拌したものを、練り混ぜたセメントペーストに投入し、再度高速で5分間練り混ぜた。1バッチの練混ぜ量は1Lとした。

### 3.4 試験方法

JIS R 5201-2015「セメントの物理試験方法」に準じて、寸法40×40×160mmの角柱供試体を各3体採取し、翌日に脱型して、6日間20℃で水中養生を行った。水中養生後、温度20℃湿度60%の気中で1日養生した。材齢7日で圧縮強さおよび曲げ強さを測定した。強度試験方法は、JIS R 5201-2015「セメントの物理試験方法 強度試験」に従った。

### 3.5 強度試験の結果と配合の関係

曲げ強さ、圧縮強さおよび見かけの密度と、各試験体の水セメント比との関係をそれぞれFig. 4, Fig. 5, およびFig. 6に示す。曲げ強さは、樹脂の体積比率が大きいほど、また水セメント比が小さくなるほど高くなる傾向を示した。例えば、水セメント比20%程度の場合、樹脂を混入しない0vol.%のNo.0-2と比較すると、樹脂の体積比率30vol.%のNo.30-2は、曲げ強度は約2.2倍になり、樹脂の体積比率40vol.%のNo.40-3場合は約2.6倍に向上した。また、樹脂の体積比率10vol.%の場合は、樹脂を混入しない0vol.%の場合に比べて、曲げ強さが同等以下であった。これは、体積比率10vol.%では樹脂量が少なく、PCP中の樹脂同士が架橋できていないことが考えられる。

Table 3 使用材料  
Properties of Materials

区分	記号	種類
セメント	C	普通ポルトランドセメント (密度: 3.16g/cm <sup>3</sup> )
混和材料	Po	樹脂系混和材料 (変性エポキシ樹脂)
混和剤	Ad	ポリカルボン酸系高性能減水剤
水	W	上水道水

Table 4 PCPの配合  
Mix Proportion of PCP

Case No.	配合体積比率		水セメント比 W/C (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )			混和剤添加率 (C×%) Ad
	樹脂系混和材料 Po (vol.%)	水 W (vol.%)		水 W	樹脂 Po	セメント C	
	0-1	0	33	15.6	330	0	2117
0-2	40		21.1	400	0	1896	0.1
0-3	50		31.6	500	0	1580	0.0
10-1	10	25	12.2	250	115	2054	0.5
10-2		30	15.8	300	115	1896	0.5
10-3		35	20.1	350	115	1738	0.3
10-4		40	25.3	400	115	1580	0.0
10-5		45	31.6	450	115	1422	0.0
10-6		50	39.6	500	115	1264	0.0
20-1	20	20	10.5	200	230	1896	0.5
20-2		40	31.6	400	230	1264	0.0
20-3		50	52.7	500	230	948	0.0
30-1	30	20	12.7	200	345	1580	0.5
30-2		30	23.7	300	345	1264	0.0
40-1	40	15	10.5	150	460	1422	0.5
40-2		20	15.8	200	460	1264	0.5
40-3		25	22.6	250	460	1106	0.1
40-4		30	31.6	300	460	948	0.1

圧縮強さは、一般的なセメントペーストと同様に、水セメント比が小さいほど高い値を示す傾向にある。樹脂を混入しない体積比率0vol.%の場合と、樹脂の体積比率10vol.%の場合では、水セメント比が20%のときに圧縮強度が最も高くなったが、これは水セメント比が10%程度の場合に、モルタルの粘性が高くなり、練り混ぜ時に空気を巻き込んだことが考えられる。

見かけの密度は、樹脂の体積比率が大きいほど、小さくなる傾向にある。これは、樹脂の体積比率が大きいほど、相対的にセメントの体積比率が小さくなったことが影響する。また樹脂の体積比率40vol.%の場合では、モルタルの粘性が高く、巻き込んだ空気を排出できなかったことも影響したと考えられる。

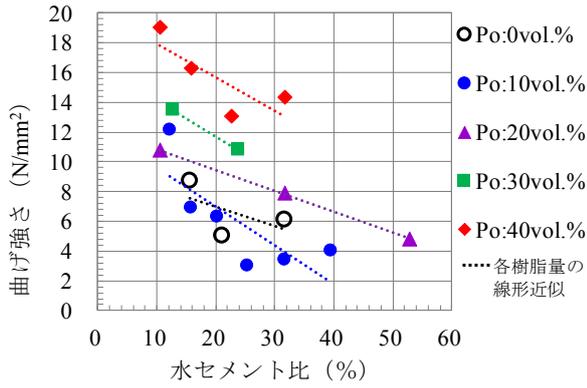


Fig. 4 曲げ強さと水セメント比の関係  
Relationship Between Bending Strength and Water Cement Ratio

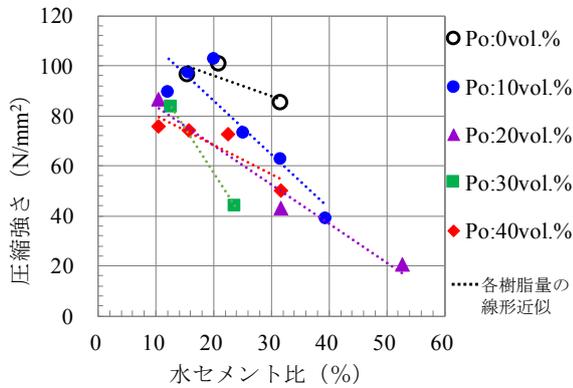


Fig. 5 圧縮強さと水セメント比の関係  
Relationship Between Compressive Stress and Water Cement Ratio

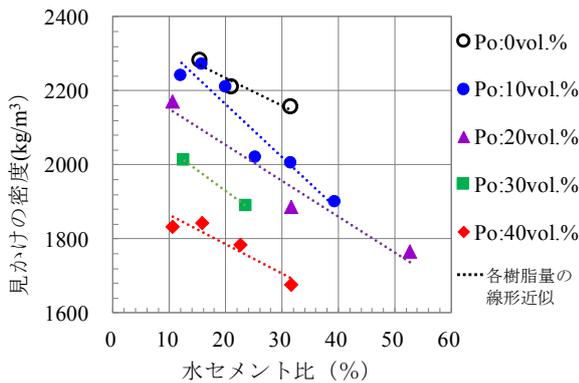


Fig. 6 見かけの密度と水セメント比の関係  
Relationship Between Apparent Density and Water Cement Ratio

### 3.6 電子顕微鏡による観察結果

樹脂の体積比率40vol.%, 水セメント比15.8%のCase40-2の強度試験後の試験片を用いて, 電子顕微鏡(以下, SEM)による画像の観察およびエネルギー分散型X線分光法(以下, EDX)による元素分布の分析を行った。そのSEM

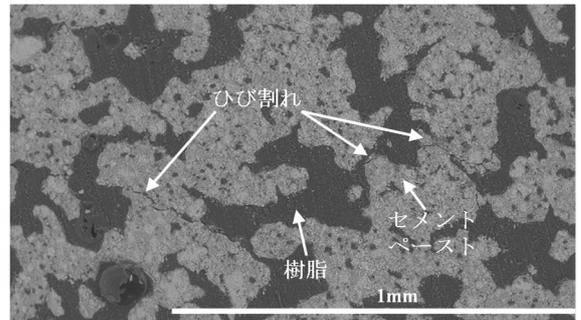
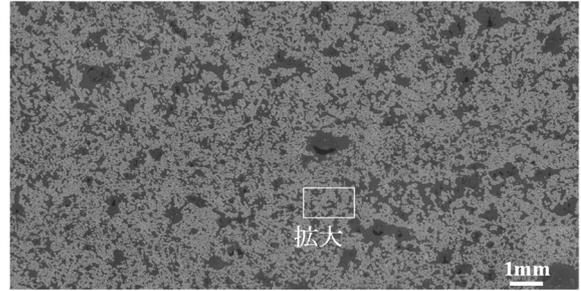


Fig. 7 PCPのひび割れ部のSEM画像  
(下段は上段の一部拡大)  
The SEM Image of The Cracked Part PCP

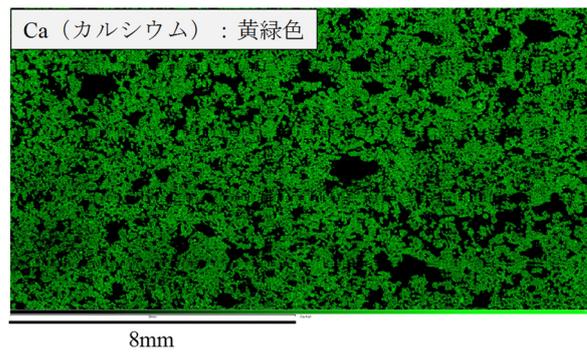
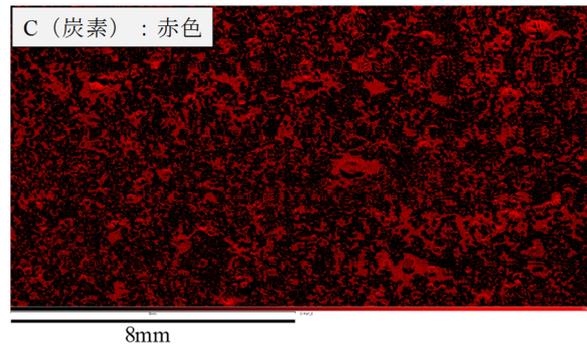


Fig. 8 PCPのEDX分析画像  
EDX Analysis Image of PCP

による画像および一部拡大した画像をFig. 7に, EDX分析画像をFig. 8に示す。Fig. 7のSEM画像において, 暗色の部分が樹脂を示し, 明色の部分がセメントペーストを示す。Fig. 8は約9×17mmの範囲でのEDX分析連結画像である。赤色が炭素であり, 樹脂を示す。緑色がカルシウム

であり、セメントペースト部を示す。SEM画像およびEDX分析の画像から、樹脂がセメントペースト中に均一に分散していることが確認できる。また、Fig. 7のSEM画像の拡大ではひび割れを確認でき、明色のセメントペースト部にひび割れが生じ、暗色の樹脂の部分にはひび割れが進展していないことが分かる。樹脂を多く添加した試験体は、分散した樹脂が架橋したことにより、曲げ強さが向上したと考える。

#### 4. 樹脂系混和材料用いた樹脂結合型土系舗装の適用検討

##### 4.1 樹脂結合型土系舗装の概要

土系舗装は、自然の土や砂を結合材で固めた舗装である。特徴は、1)土本来の風合いを生かすため景観性が高いこと、2)適度な弾力性、衝撃吸収性があり歩行しやすいこと、3)保水性を有するため路面温度の低減効果を有することなどである。このため、歩道や広場等へ適用される事例が多い。結合材には、セメント系、石灰系、樹脂系、アスファルト系などが用いられる。その中で、樹脂を結合材として用いたものを、樹脂結合型土系舗装と呼ぶ。

一般に、土系舗装は、強さなどの規格値が定められていない。しかし、大林道路の保有技術である、エポキシ樹脂を用いた樹脂結合型土系舗装「オーククレ- E」では、圧縮強さの規格値を材齢7日で0.5N/mm<sup>2</sup>以上としている<sup>8)</sup>。土や砂の材料は、基本的に自然含水状態で使用するため、水分の存在下では樹脂の強度は低下する。そのため、供用中の荷重に対して、割れや欠けが生じ易い。そこで、水分の存在下で強度が低下しない本樹脂系混和材料を用いることで、土系舗装の強度が向上し、割れにくくなることが考えられた。また、土系舗装を歩道だけでなく、乗用車が乗り入れる駐車場にも適用できれば、アスファルト舗装の駐車場に比べて路面温度を低下でき、昨今の夏季の温度上昇への対策の一助になると考えた。そこで、樹脂結合型土系舗装を駐車場に適用することを目的とし、乗用車の荷重に耐える土系舗装の検討を行った。

##### 4.2 土系舗装の施工場所・施工条件

試験施工は、滋賀県の工場敷地内の駐車場で実施した。琵琶湖に近接するため、供用中に水質を汚染しないことが求められたが、本樹脂の硬化物は、水質試験(2.4節)で合格している。

駐車場の寸法は、1工区 2.5×6mであり、2工区の合計計30m<sup>2</sup>を舗装厚さ約4cmで施工した。施工時期は、1月中旬で、施工当日の天候は晴れのち曇り、外気温は8℃であった。

##### 4.3 使用材料と配合

使用材料と配合をTable 5に示す。土は、滋賀県産の真砂土を自然含水率で使用し、含水比は7%であった。真砂土

Table 5 使用材料と配合  
Materials and Formulations Used

材料	種類	配合	備考
土	真砂土	100%	含水比7%
樹脂	樹脂系混和材料	工区1：7% 工区2：6%	土の乾燥質量に対して外割添加



Photo 1 樹脂と真砂土の練混ぜ状況  
Mixing Resin and Soil

は花崗岩が風化した砂質系の土であり、日本国内に広く分布する土である。結合材は、本樹脂系混和材料を用いた。

施工場所の工区1と工区2において、樹脂の添加量を真砂土の乾燥質量に対して外割り添加で7%および6%と変化させ、硬化後の性状を比較した。

樹脂は主剤と硬化剤ともに、計量の直前まで屋内にて40℃で保温したものを使用した。これは、2.2.2項で述べたように、樹脂を5℃の室温で混合した場合に180分後で未硬化であったことから、硬化反応を促進するためである。事前に室内試験で確認したところ、混合前の樹脂を40℃に保温して、外気温5℃で樹脂と真砂土の混合した場合の混合物の可使時間は45分であった。練混ぜ開始から転圧まで、駐車場1工区を施工するのに十分な時間であることを確認した。

##### 4.4 施工方法とその状況

4.4.1 材料練混ぜ 練混ぜの状況をPhoto 1に示す。樹脂の主剤と硬化剤の混合は、ハンドミキサーを用いて、1分間攪拌した。樹脂と土の練混ぜには、パン型モルタルミキサーを用いた。真砂土を30秒間空練りし、あらかじめ攪拌した樹脂を投入した後、3分間練り混ぜた。

4.4.2 締固め 締固めの状況をPhoto 2に示す。モルタルミキサーから排出した混合物を、コテなどを用いて敷き均した。次に、プレートコンパクターを用いて、合板を介して締め固めた。最後に、ハンドガイドローラを用いて転圧した。転圧時に施工機械などに混合物が付着することはなく、通常の樹脂結合型土系舗装と同等の施工性であった。また、エポキシ樹脂特有の臭気が無く、作業環境は一般的なエポキシ樹脂を用いた場合に比べて良好であった。工区1、工区2ともに、施工完了から1時間後に



Photo 2 締め状況  
Compaction Situation

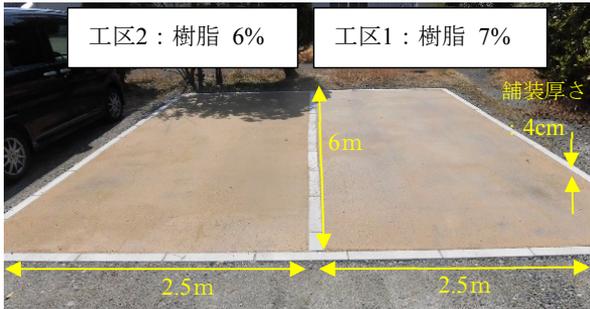


Photo 3 3か月経過の外観  
Appearance After 3 Months

は、舗装面の歩行が可能であった。

#### 4.5 施工後の経過と試験結果

4.5.1 経過観察 1月中旬の施工完了から3か月後の外観をPhoto 3に示す。施工完了翌日から、駐車場として供用し、1日1台の普通乗用車が入り出す状況であった。

樹脂量が7%の工区1と樹脂量が6%の工区2の両工区とも、クラックなどの破損は生じておらず、駐車場として良好に使用できた。本樹脂系混和材料を用いたことで、土系舗装の強度が向上し、乗用車の荷重に耐えうる可能性がある。今後2年間の経過観察を行う予定である。

4.5.2 衝撃吸収性・反発弾性 舗装調査・試験法便覧<sup>9)</sup>S026-1「舗装路面の弾力性試験法」に従い、GB係数およびSB係数を測定し、舗装面の衝撃吸収性と反発弾性を評価した。GB係数は、人が感じる柔らかさや足への衝撃に関連する衝撃吸収性、SB係数は、人が感じる路面の跳ね返りである反発弾性と相関が高いとされる。

測定結果をTable 6に示す。また、各種舗装材料と本樹脂系混和材料を用いた土系舗装のGB係数とSB係数の関係をFig. 9に示す。樹脂量7%の工区1の方が、樹脂量6%の工区2に比べて、GB係数がやや高い。本土系舗装は、GB係数が従来の樹脂結合型土系舗装(オーククレ- E)よりも高く、アスファルト舗装に近いことが分かる。また、樹脂量を変えることで、GB係数を調整できる可能性がある。

4.5.3 一軸圧縮強さ 施工時に、混合物を採取し、φ50mm×高さ100mmの円柱供試体を作製した。試験体の作製は、JCAS L-01-2006「セメント系固化材による改良体の強さ試験方法」に準拠し、重量1.5kgのランマーを

Table 6 衝撃吸収性と反発弾性の試験結果

Results of Elasticity and Shock Absorption

測定日	工区1(樹脂7%)		工区2(樹脂6%)	
	GB係数	SB係数	GB係数	SB係数
施工翌日	80%	-	60%	-
3か月後	76%	4%	58%	1%

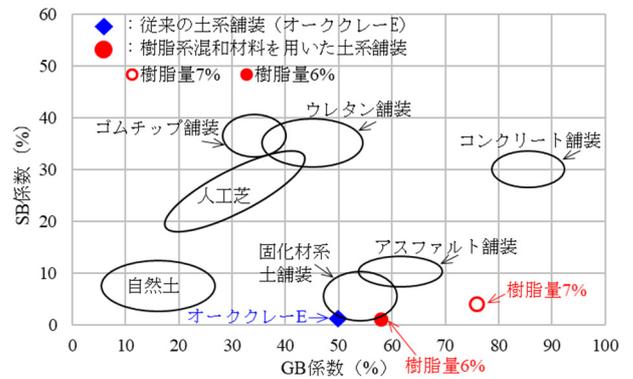


Fig. 9 各種舗装材料と本土系舗装のGB係数とSB係数の関係(参考文献<sup>10)</sup>に加筆)

Relationship Between GB Coefficient and SB Coefficient

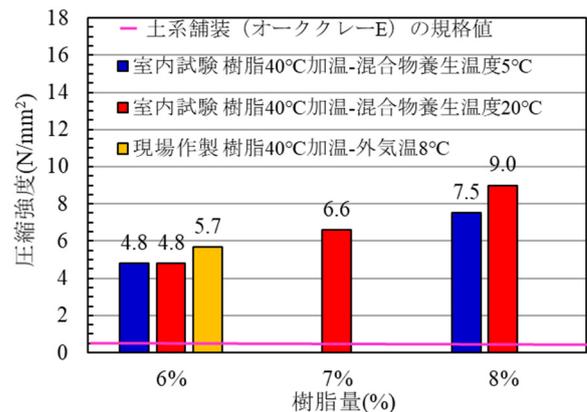


Fig. 10 圧縮強度と樹脂量および養生温度の関係

Relationship Between Compressive Strength and Amount of Resin and Curing Temperature

用いて、3層12回で突き固めた。一軸圧縮試験は、JIS A 1216-1998「土の一軸圧縮試験方法」に準拠し、材齢7日で試験を行った。

また、施工前の事前検討として、混合前の樹脂を40°Cで加温した後、真砂土の養生温度と混合物の養生温度をそれぞれ5°Cと20°Cに変化させた場合の室内試験の結果を併せてFig. 10に示す。

事前検討の結果より、樹脂と真砂土の養生温度の違いによる強さの差は生じなかった。樹脂の添加量が多いほど、一軸圧縮強度が高い傾向であった。舗装施工時に外気温8°Cの環境下で採取した試験体も室内試験の結果と同程度の強さであった。従来の樹脂結合型土系舗装(オーククレ- E)の圧縮強さの規格値は0.5N/mm<sup>2</sup>以上であるの

に対し、本樹脂系混和材料を用いた土系舗装はその10倍以上の5N/mm<sup>2</sup>以上であることが確認できた。

**4.5.4 路面温度** 施工後7か月後の8月にサーモカメラを用いて、夏季の路面温度を測定した。測定時の外気温は33℃であり、天候は晴れであった。

その結果をPhoto 4に示す。施工した工区1および工区2の手前のアスファルト舗装では路面温度が51.5℃であるのに対し、本樹脂系混和材料を用いた土系舗装は6～7℃程度低減した。これは、土が保水性を有するためであり、一般的な土系舗装と同様に路面温度は低減したことを確認した。

## 5. まとめ

本研究では、水を含む材料と混合しても硬化性能が低下しない樹脂系混和材料を、セメントペーストと土系舗装に適用した。まず、樹脂系混和材料を添加したセメントペーストの検討で、以下の知見を得た。

- 1) 低水セメント比の配合において、樹脂の添加量が多いほど曲げ強度が向上し、水セメント比20%程度で樹脂の体積比率30vol.%の場合は、樹脂を添加しない場合に比べて、約2.2倍に向上した。
- 2) 強度試験後の試験片を電子顕微鏡観察において、セメントペースト部に生じたひび割れは、樹脂を貫通しておらず、樹脂の架橋効果により曲げ強度が向上した可能性がある。

次に、樹脂系混和材料を用いた樹脂結合型土系舗装の検討で、以下の知見を得た。

- 1) 本樹脂系混和材料を自然含水状態の真砂土と混合した土系舗装は高い硬化性能を有し、一軸圧縮強さは、従来の樹脂結合型土系舗装に比べて10倍以上高くなった。
- 2) 1日に普通乗用車が1台出入りする駐車場として供用し、経過観察を行ったところ、割れなどは生じなかった。
- 3) 本樹脂系混和材料を土の重量に対して7%添加した場合の衝撃吸収性は、アスファルト舗装に近く、6%添加した場合は従来技術の土系舗装に近い。樹脂の添加量を調整することで、歩行しやすい歩道用の舗装にも、乗用車が乗り入れる駐車場などの舗装にも適用可能である。
- 4) 夏季に測定した路面温度は、アスファルト舗装より6～7℃程度低減した。

## 謝辞

樹脂系混和材料の製造および土系舗装の工事にご協力頂きました、三光(株)の関係者に深く感謝申し上げます。

## 参考文献

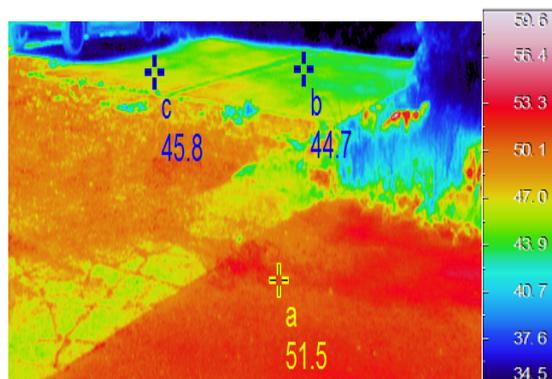
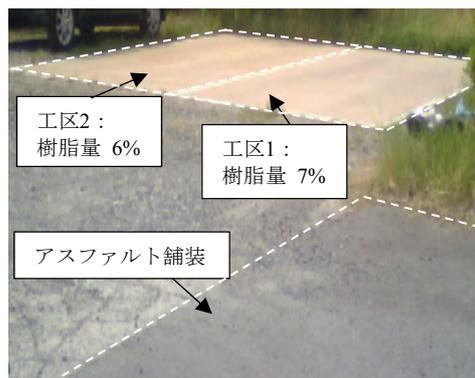


Photo 4 サーモグラフィによる路面温度測定  
Road Surface Temperature Measurement  
by Thermography

- 1) 「プラスチック・機能性高分子材料事典」編集委員会：プラスチック・機能性高分子材料事典，pp.448-465，2005
- 2) 大濱嘉彦，出村克宣：ポリマーセメントコンクリート/ポリマーコンクリート，シーエムシー出版，p.86-87，2002
- 3) 社団法人日本道路協会：舗装調査・試験法便覧 [3]，pp.363-366，2017
- 4) 公益社団法人日本水道協会：日本水道協会(JWWA)規格，2016
- 5) 一般財団法人日本建築総合試験所：防耐火性能試験・評価業務方法書，2016
- 6) 宮川豊章，他：コンクリート補修・補強ハンドブック，朝倉書店，pp.425-430，2011.6
- 7) コンクリート工学協会編：コンクリート便覧，技報堂出版，1996.2
- 8) 藤田義憲：景観・環境に配慮した樹脂結合型土系舗装，大林道路株式会社，月刊建材フォーラム，2014.8
- 9) 社団法人日本道路協会：舗装調査・試験法便覧 [1]，pp.126-129，2017
- 10) 独立行政法人土木研究所：土系舗装ハンドブック歩道用，大成社出版，pp.27-56，2009