

# 環境負荷低減型の粉塵防止材の開発

井 出 一 貴      三 浦 俊 彦

## Development of Dust Prevention Materials with Reduced Environmental Impact

Kazuki Ide      Toshihiko Miura

### Abstract

In this study, a dust-prevention material composed of lignin sulfonate, a component of wood ingredients, was developed to deal with flying sediments and dust generated during construction. This dust-prevention material has a low environmental impact owing to its natural nature. The dust suppression effects of the concentration and rainfall were investigated in laboratory tests using a small wind tunnel test apparatus. In the field test, the dust control material was spread on the soil, and the amount of dust generated was measured using a measuring device with a blower, confirming that the material effectively controlled dust dispersion. In contrast, owing to the low durability of rainfall, a dust prevention material of a polymer resin should be used with the material if rainfall resistance is expected.

### 概 要

工事に発生する飛散土砂や粉塵に対して、環境負荷低減を目的として、木材の成分であるリグニンスルホン酸塩を主成分とする粉塵防止材を開発した。室内試験で、濃度による粉塵抑制効果や降雨に対する耐性を小型の風洞試験装置を用いて調べた。屋外曝露試験では、耐候性の評価を行った。現場試験では、実際に粉塵防止材を土壌に散布し、ブロワーを用いて粉塵発生量を測定した。これらの試験により粉塵飛散の抑制効果があることを確認したが、一方で降雨耐性には課題があることが分かった。そのため降雨耐性も求められる場合は高分子を併用することが考えられた。今後、効果の確認できた環境負荷の少ない粉塵防止材について適用拡大を行っていく予定である。

### 1. はじめに

造成工事など土砂を取り扱う工事では、施工に起因する飛散土砂や粉塵の周辺環境への影響を抑制するため、土砂粉塵の飛散防止として覆土や散水、シート掛けが行われている。これらの対策は施工手間や作業効率、コストなどの面で負担になっていた。これらの課題に対応するために各種粉塵防止材が開発され使用されている。粉塵防止材の中には被膜を形成する高分子樹脂を使用しているものがあり、それが生分解性を持たない樹脂の場合には、長期間にわたって環境に残留する可能性がある。

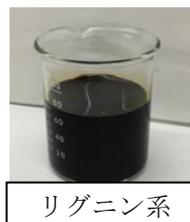
そこで、環境に残留しても影響の少ない天然由来の素材として、製紙工業から発生する副産物であるリグニンスルホン酸塩<sup>1)</sup>に着目した。リグニンスルホン酸塩の溶液を土に添加すると土を固結する働きがあるため、粉塵防止材としての適用が考えられた。また、リグニンスルホン酸塩を有効利用することは資源の循環利用にもつながる。一方で、リグニンスルホン酸塩は水への溶解性が高いため、降雨への耐久性に課題があった。そこで、降雨への耐久性が必要な場合は、高分子系粉塵防止材を適用することとした。リグニン系の天然素材と高分子系素材の粉塵防止効果と適切な添加濃度を検討したので以下に報告する。

Table 1 試験項目と確認事項  
Test Items and Confirmation Items

項目	内容
粉塵飛散量測定試験	濃度毎の粉塵飛散量
	散布後表面強度と粉塵量の関係
降雨耐久性試験	降雨に対する耐久性
	浸出水の性状確認
屋外曝露試験	紫外線等耐候性
現場実証試験	実現場土壌での粉塵飛散量

Table 2 粉塵防止材の種類  
Types of Dust Prevention Materials

分類	主成分	原液外観	pH	COD(mg/L)
リグニン系	リグニンスルホン酸塩	茶褐色	5~6	2,000
高分子系	熱可塑性樹脂	乳白色	6~7	20



リグニン系



高分子系

Photo 1 粉塵防止材の外観  
Appearance of Dust Prevention Material

## 2. 粉塵防止材の種類と性質

試験項目と確認事項をTable 1に示す。粉塵防止材の概要をTable 2, 外観をPhoto 1に示す。

### 2.1 リグニン系粉塵防止材

リグニンスルホン酸塩は高分子物質であり、粘結性を有する木材由来の還元性糖類や糖スルホン酸塩も含まれており、それらの相乗効果によって土壌を固結させる。

### 2.2 高分子系粉塵防止材

主成分として生物分解しにくい安定した皮膜を形成する高分子樹脂を用いている。散布後に乾燥し、水分が抜けることで土壌の上面に樹脂の皮膜を形成し、粉塵の飛散を防止する。

## 3. 室内・屋外評価試験

リグニン系粉塵防止材、高分子系粉塵防止材ともに、現場では原液を水に希釈して使用する。そこで室内試験で濃度の異なる溶液を作成し、粉塵飛散量の測定を行った。また、降雨に対する耐久性を確認するために降水試験を行い、降水後の粉塵飛散抑制効果を確認した。さらに、屋外で曝露試験を行い、その後の粉塵飛散抑制効果を確認した。

### 3.1 粉塵飛散量測定試験

**3.1.1 試料土壌** 現場適用試験を想定して、現場で採取した砂質土壌の粒度分布に合わせて、珪砂などの購入土で作成した模擬土<sup>2)</sup>を供試土とした。Fig. 1に供試土の粒度分布を、Table 3に性状を示す。分類は細粒分礫まじり砂で、最大乾燥密度が1.872 g/cm<sup>3</sup>で、最適含水比が9.8%であった。

**3.1.2 試験方法** 容器(24cm×31cm=744cm<sup>2</sup>, 高さ4.5cm)に絶乾状態にした供試土を最大乾燥密度の90%となるように充填した。充填した容器に濃度を変えた粉塵防止材を一般的な散布量に合わせて2 L/m<sup>2</sup>となるように霧吹きを用いて散布した。散布後の粉塵防止材の乾燥を考慮して散布後の試験体を室内(20℃)で24時間養生した。比較対象として、未散布のケースと同量の水散布のケースも実施した。各粉塵防止材の濃度(原液濃度を

100%と換算して)は、6.7%, 3.3%, 1.7%, 1.1%, 0.8%とした。養生後の試験体を下記のFig. 2に示す小型風洞装置を用いて粉塵飛散量の測定を実施した。風洞出口の断面中央部分で風速が10 m/sとなるように設定し、風速が10m/s一定となつてから30秒間装置を運転した。

風速の設定根拠として、後述の現場適用試験場所での風速を考慮した。試験場所に近い気象庁観測所のデータでは、観測所の年間平均風速は1.6 m/s(1981~2010)で、日最大瞬間風速は、32.4 m/s(2017/4/19)であった。但し、観測所のデータは風速計の設置高さが10 mであるので、実際に粉塵が発生する地表近くの風速が不明であった。そこで風速の鉛直分布を調べた例<sup>3)</sup>から、10 m高さの風速が30 m/sの時の地表0.2 mの高さ(実験時の送風機と試

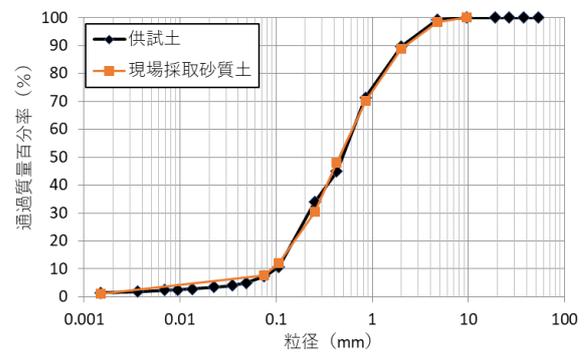


Fig. 1 供試土の粒度分布  
Particle Size Distribution of Test Soil

Table 3 供試土の性状  
Properties of Test Soil

試験項目	単位	供試土	
土粒子の密度	g/cm <sup>3</sup>	2.662	
粒度	礫分	%	11
	砂分	%	80.8
	シルト分	%	4.1
	粘土分	%	4.1
最大粒径	mm	9.5	
地盤材料の分類	-	細粒分礫まじり砂	
最大乾燥密度	g/cm <sup>3</sup>	1.872	
最適含水比	%	9.8	

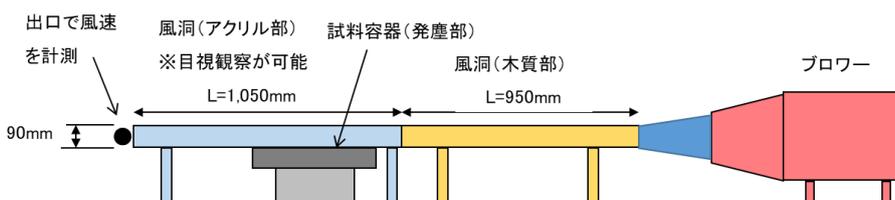


Fig 2 小型風洞試験装置  
Compact Wind Tunnel Test Equipment



試験体設置状況

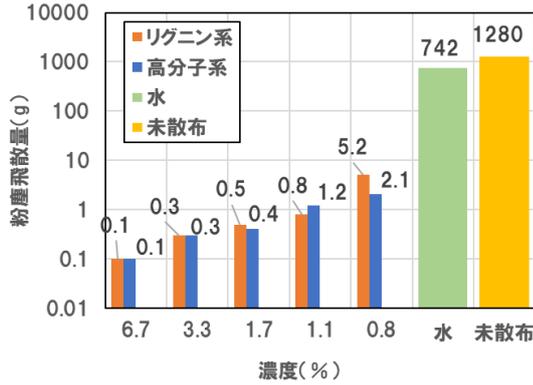


Fig. 3 粉塵飛散量測定結果  
Dust Dispersion Measurement Results

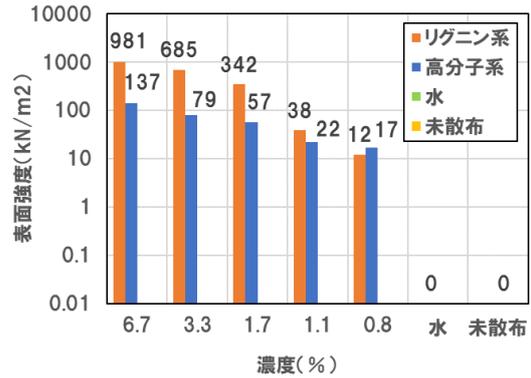


Fig. 4 表面強度測定結果  
Surface Strength Results

料の高さ設定)の風速を10m/sと想定した。また、運転時間は、事前試験で飛散する粉塵の多くは30秒以内に飛散することを確認し、30秒と設定した。

試験毎に試験体の試験前後の質量を測定し、減少した質量を粉塵飛散量とした。

**3.1.3 試験結果** 粉塵防止材濃度ごとの試験結果をFig. 3に示す。未散布や散水のみを対象区では、粉塵飛散量はそれぞれ1,280 gと742 gとなり粉塵飛散量が多くなった。粉塵防止材を散布したケースでは、リグニン系、高分子系ともにいずれの濃度でも対象区と比較して粉塵飛散量が大きく低減されており飛散抑制効果が見られた。また、どちらの粉塵防止材も濃度が高いほど粉塵飛散量は少なく抑制効果が見られた。

### 3.2 試験体表面強度の測定試験

**3.2.1 試料土壌** 3.1節と同じ試料を使用した。

**3.2.2 試験方法** 3.1節と同じように試験体を作成し養生した。養生後の試験体の表面を、山中式硬度計を用いて表面強度を測定した。

**3.2.3 試験結果** 粉塵防止材の濃度と表面強度測定結果をFig. 4に示す。いずれの粉塵防止材においても、表面強度の増加が見られた。リグニン系では濃度が0.8%の時に表面強度は12 kN/m<sup>2</sup>であった。6.7%濃度では981 kN/m<sup>2</sup>以上の強度が出ており、濃度に比例し表面強度が上がることが分かった。高分子系では、リグニン系よりも表面強度は低いが、濃度に比例して表面強度が高くなった。被膜厚さが厚くなり、強度が上がったと考えられる。

**3.2.4 粉塵飛散量と表面強度の関係** 粉塵飛散量と表面強度の関係をFig. 5に示す。いずれの粉塵防止材も表面強度と飛散量に相関関係があり、表面強度が高いほど飛散量が少ない傾向が見られた。また、高分子系はリグニン系に比べて表面強度が低いが、飛散量は少ない傾向が見られた。高分子系は皮膜を形成し、飛散量を抑えるのに対して、リグニン系は固結することで飛散量を抑えている作用の違いによるものと考えられる。同じ土壌であれば、どちらの粉塵防止材も散布後の土壌の表面強度を測定することで、粉塵飛散量を予測し、飛散抑制効果

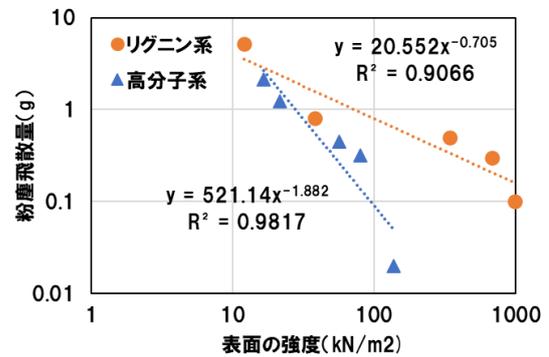


Fig. 5 粉塵飛散量と表面強度の関係  
Relationship between Dust Dispersion and Surface Strength

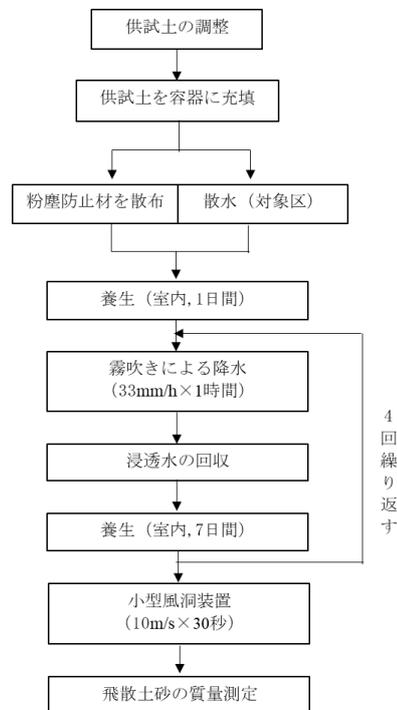


Fig. 6 降雨耐久性試験手順  
Water Sprinkling Durability Test Procedure

を推定できる可能性がある。

### 3.3 降雨耐久性試験

降雨に対する耐久性を調べるために、降雨を想定した室内試験を実施した。

**3.3.1 試験方法** 試験の手順をFig. 6に示す。粉塵防止材の散布は粉塵飛散試験と同様に、濃度を変えて実施した。ケース1は未散布とし、ケース2～6はリグニン系で濃度を6.7%～0.8%とし、ケース7～11は高分子系で濃度を6.7%～0.8%とした。

降水量は、日本の年間降水量（1,718 mm/年）<sup>4)</sup>から1週間あたりの降水量（33 mm）を計算し、1週間に一回前記降水量を1時間、霧吹きにより降水し、これを4回（4週間）繰り返した。比較として降水を行わずに同じ期間養生したケースも実施した。降水ありのケースでは粉塵防止材散布後の最初の降水までの養生期間は1日とした。降水によって発生した浸出水を回収し、溶出成分の指標としてpH、EC（電気伝導度）の測定を行った。また、4回の降水試験後、1週間養生した後に粉塵飛散量を測定した。

**3.3.2 試験結果** リグニン系の浸出水のpH測定結果をFig. 7に示す。リグニン系の浸出水のpHはいずれのケースも降水1回目に水散布区の浸出水のpHと比べて低下し、2回目でやや上昇したが、その後も水散布区よりも低い値に漸近する傾向がみられる。リグニン系の浸出水のEC測定結果をFig. 8に示す。ECは水散布区の浸出水のECと比べて降水1回目に増加し、2回目でやや低下し、その後水散布区よりもやや高めの値に漸近する傾向がみられる。リグニン系は固結したものが一部水に溶けている可能性が考えられた。

高分子系の浸出水のpH測定結果をFig. 9に、EC測定結果をFig. 10に示す。高分子系の浸出水のpH、ECともほぼ水散布と同様であり、降水により高分子の溶出はほとんどないものと考えられた。

降水後の飛散量の測定結果をFig. 11～12に示す。リグニン系では、濃度が低い場合には粉塵飛散量が増加する傾向がみられた。また、降水なしのケースと比べるとすべての濃度で粉塵飛散量の増加がみられた。未散布、水散布のみと比較すると飛散量は低く推移しているが、リグニン系は降雨の影響を受けやすい粉塵防止材であることがわかった。高分子系では、各濃度で降水なしのケースとほとんど違いは見られなかったが、濃度が低い0.8%の場合には粉塵飛散量が大きく増加した。

### 3.4 屋外曝露試験

降雨や紫外線などの耐候性を確認するために試験体を屋外に曝露し、粉塵飛散に対する影響を確認した。

**3.4.1 試験方法** 3.1粉塵飛散量測定試験と同様にそれぞれの粉塵防止材の濃度を6.7～0.8%とした試験体を作成し、試験体を屋外の日差しや降雨を遮らない場所に4週間（2022年10月、東京都清瀬市大林組技術研究所材料化学実験棟屋上）曝露し、その後粉塵飛散量を測定し

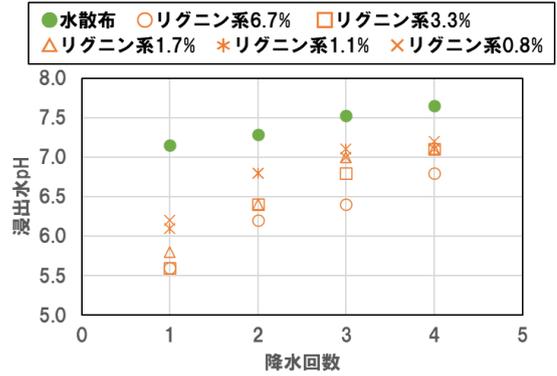


Fig. 7 浸出水の pH (リグニン系)  
Leachate pH

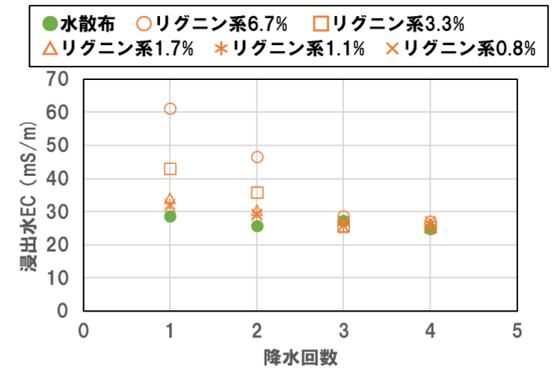


Fig. 8 浸出水の EC (リグニン系)  
Leachate EC

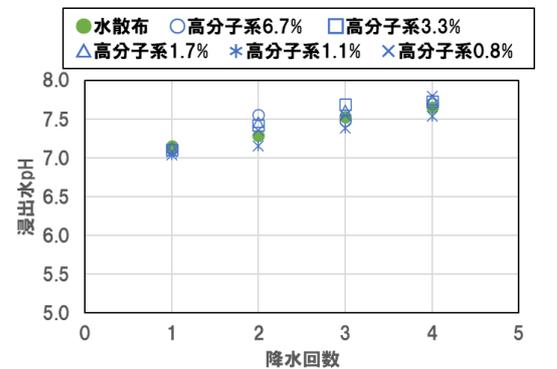


Fig. 9 浸出水の pH (高分子系)  
Leachate pH

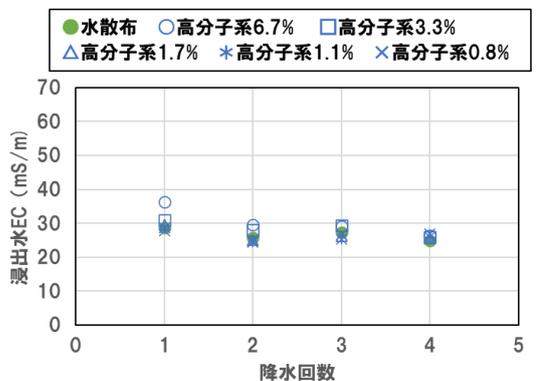


Fig. 10 浸出水の EC (高分子系)  
Leachate EC

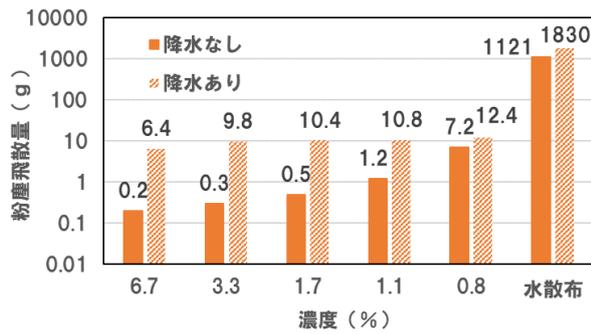


Fig. 11 粉塵飛散量測定結果 (リグニン系)  
Dust Dispersion Measurement Results

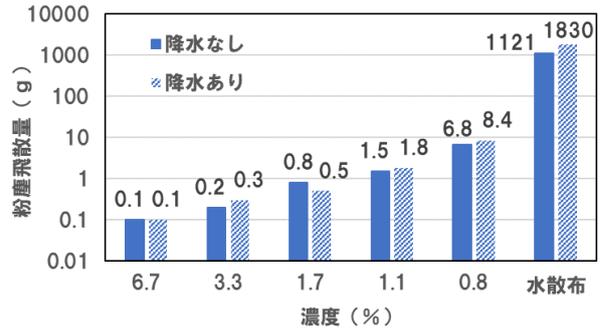


Fig. 12 粉塵飛散量測定結果 (高分子系)  
Dust Dispersion Measurement Results

た。曝露期間中に降雨は2回あり、合わせて10 mm程度であった。

**3.4.2 試験結果** 屋外曝露試験の結果をFig. 13~14に示す。耐候性影響については、試験期間後の試験体の粉塵飛散量の比較を試験前後の試験体の質量を測定することで行った。比較対象として、室内で4週間散水なしで養生したケースと比較した。リグニン系では、濃度が低い1.1%以下の場合には、屋外曝露した場合には粉塵飛散量が増える結果となった。高分子系でも、濃度が低い0.8%の場合には、屋外曝露した場合に粉塵飛散量が増える結果となった。どちらの粉塵防止材でも1.1%以上の濃度の場合には粉塵飛散量に差が見られなかった。

Photo 2に6.7%濃度の屋外曝露試験終了後の供試体の表面の状態を示す。表面がかけてたり、流されたりした跡はみられなかった。

### 3.5 適用条件の検討

室内・屋外試験の結果からリグニン系粉塵防止材の適用の濃度範囲や降水による影響が確認できた。粉塵防止材は現場の裸地部などの粉塵防止に使用されており、基本的には雨天時は粉塵が発生しないため、粉塵防止材は使用されない。晴天時の短期の現場休工時の裸地部にはリグニン系の適用が考えられるが、長期の現場休工時の合間に雨天が予想される場合には、低濃度の高分子系粉塵防止材を適用するなどの使い分けが考えられる。

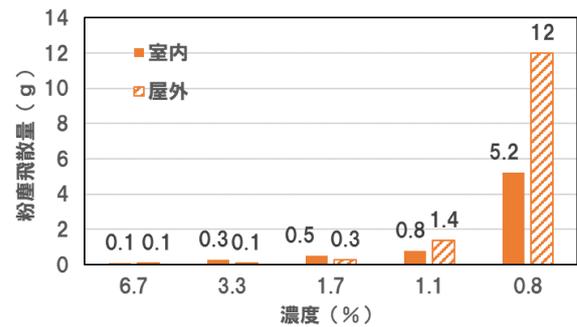


Fig. 13 粉塵飛散量測定結果 (リグニン系)  
Dust Dispersion Measurement Results

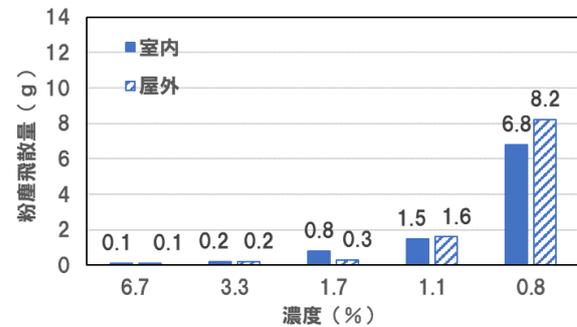


Fig. 14 粉塵飛散量測定結果 (高分子系)  
Dust Dispersion Measurement Results

## 4. 現場適用試験

### 4.1 目的

実現場での粉塵飛散抑制効果等を確認するため、土木工事現場で、粉塵防止材を散布し適用試験を実施した。散布箇所を風を当てた測定方法を検討し、発生した粉塵量から効果の確認を行った。

### 4.2 試験方法

現場の一部に試験区画 (1区画あたり3 m×3 m) を設けた。試験ケースは、未散布区、水散布区、粉塵防止材散布区×2とした。Table. 5に試験ケースを示す。水散布区、

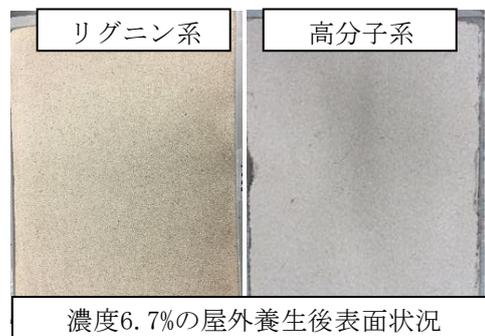


Photo 2 養生後試験体状況  
Test Specimen Condition after Curing

粉塵防止材散布区は2 L/m<sup>2</sup>となるように散布し、24時間養生を行った。養生期間中に降雨はなかった。粉塵防止材は室内試験で確認した適切な濃度の範囲の30倍希釈液(3.3%)を使用した。

**4.2.1 粉塵飛散量の評価** 現場の試験区画は屋外で開けた場所であるため、周辺からの影響もあり、粉塵を測定しても、どの場所の粉塵発生量を測定しているのかを確定することは難しい。また、測定時の風速、風向を管理することは不可能である。そこでFig. 15の密閉の可搬式の測定装置で出口側の粉塵量をデジタル粉塵計(LD-3K2型：柴田科学)で測定した。測定装置出口の風速を測定し、粉塵量測定時の風速10 m/sとなるようにブロワーを調整し、30秒間の粉塵量を測定した。測定箇所はPhoto 3に示すように、3 m×3 mの区画を9分割し、そのうち5区画の粉塵量を測定して、平均値を各試験の粉塵量とした。

**4.3 試験結果**

Fig. 16に粉塵飛散量の結果を示す。未散布区の粉塵量は、2.32 mg/m<sup>3</sup>であった。水散布区でも粉塵量は0.28 mg/m<sup>3</sup>と低減した。リグニン系、高分子系粉塵防止材散布区は、ともに未散布区や水散布区に比べて、粉塵量が大幅に低く抑えられており、散布による効果が確認できた。

**5. まとめ**

工事での粉塵防止の作業手間を低減し、環境負荷低減のために天然素材の粉塵防止材を開発し、さらに、室内試験及び屋外試験で飛散抑制効果と降雨耐久性を確認し、現場適用試験で適用性を検証した。得られた結果を以下に示す。

- 1) リグニン系及び高分子系ともに粉塵飛散抑制効果があり、濃度が濃い方が飛散抑制効果は高い。
- 2) 高分子系粉塵防止材は降雨への耐久性が高い。リグニン系粉塵防止材は降雨により一部溶出することから日々埋め立てられる場所などの短期使用に適用可能と考える。
- 3) 散布後の表面強度と粉塵飛散抑制効果の相関関係から、表面強度から粉塵飛散量の予測可能性を確認した。

今後、現場での散布後表面強度と粉塵飛散量のデータ取得を行い、予測手法の検証などを実施する予定である。

**参考文献**

- 1) 高野俊幸：リグニンの利用に向けて、ネットワークポリマー，Vol.31，No.5，2010
- 2) 千野裕之，仲谷晋吾，八塩晶子，大熊史子：ポリイオンコンプレックスによる土砂の流出抑制に関する試験，第60回粘土科学討論会，2018

Table 5 現場適用試験ケース  
Field Application Test Case

No	粉塵防止材種類	濃度 (%)	散布量 (L/m <sup>2</sup> )
1	未散布	—	—
2	水散布	—	2.0
3	リグニン系	3.3	2.0
4	高分子系	3.3	2.0

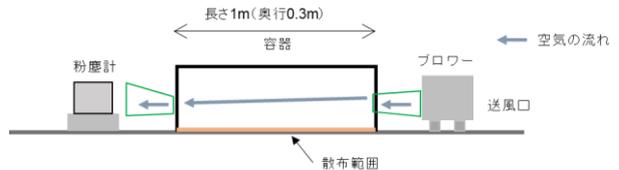


Fig. 15 粉塵飛散量測定装置  
Dust Dispersal Measurement Device

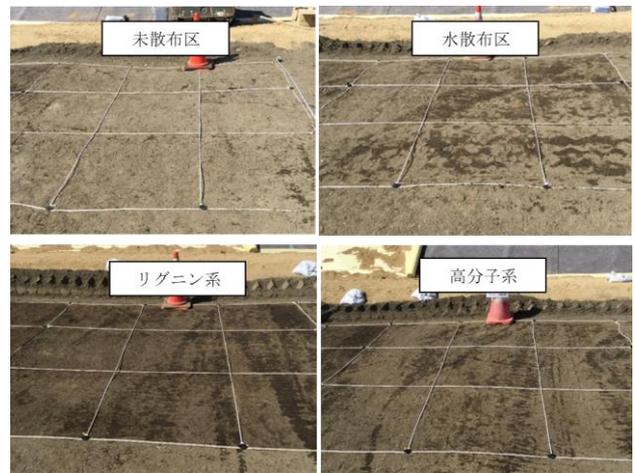


Photo 3 試験区状況  
Test Section Status

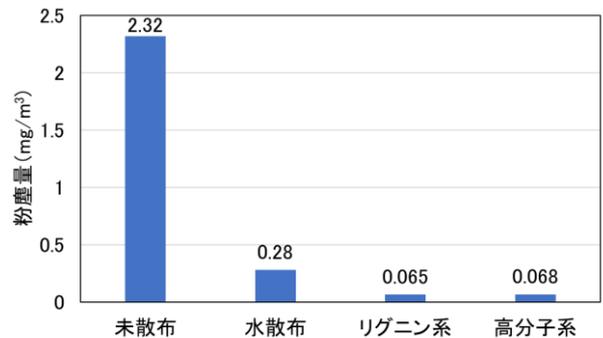


Fig. 16 粉塵量  
Dust Content

- 3) 近藤 純正：地表面に近い大気の科学，東京大学出版会，2000
- 4) 国土交通省土地・水資源局水資源部「平成16年版日本の水資源」，2004