

被膜形成型の粉じん飛散防止材の粉じん飛散・法面侵食防止効果

Study on Effects of Membrane Curing for Dust Scattering Prevention and Slope Erosion Control

河野 麻衣子 田淵 哲也¹⁾
北田 健介¹⁾ 末吉 隆信²⁾

要 約

被膜形成型の粉じん飛散防止材 MAK フォーマー®.20 (以下、本材料とする) は、これまで室内試験等で良好な生分解性や耐候性を確認している。本研究では、実施工を想定した粉じんの飛散防止と法面侵食防止に関する定量データを取得するための試験を実施した。試験において粉じん飛散濃度を約半年間取得した結果、本材料は生分解性を持つ他社の材料と比較して散布後 180 日の粉じん飛散濃度が 1/18 以下であることが明らかとなった。また、造成現場における法面の長期侵食防止効果を検証した結果、散布から約 4 ヶ月効果維持を確認した。さらに、侵食防止効果は土壌に形成された皮膜の強度に関係するが、処理した地盤面の被膜の静止摩擦係数との関連性が示唆された。

目 次

- I. はじめに
- II. 屋外ヤードにおける粉じん飛散防止実験
- III. 屋外ヤードにおける法面侵食防止実験
- IV. おわりに

I. はじめに

建設現場では、作業員の良好な作業環境の維持や周辺住民の生活環境保全の観点から、様々な粉じん飛散防止対策が講じられている。例えば、散水やシート養生などが一般的な対策ではあるが、前者は実施が簡易だが、効果持続期間は短期的で実施頻度が高くなる。後者は効果持続期間が長期的だが設置や撤去に手間がかかり、鉄道が近接する都市土木の施工案件では、線路へのシート飛散といった鉄道への交通障害リスクから施工を制限される。そこで、施工が簡易で、効果が比較的長期間継続する粉じん飛散防止材に注目した。既存の粉じん防止材には半年間効果が継続する耐候性が高い材料や、土壌に散布すると外的要因によって材料が分解される生分解性の高い材料などが多く存在する。また、近年、台風の大規模化や集中豪雨の増加によって、法面の侵食防止対策につ

いても、シート養生材の代替として施工が容易な対策法のニーズが高まっている。しかし、両者の機能を兼ね備えた材料はこれまでなかった。筆者らはこれらの両方の機能を有する被膜形成型の粉じん飛散防止材 MAK フォーマー®.20 (以下、本材料とする) を開発した¹⁾。本材料は、ポリ酢酸ビニル (以下 PVAC とする) やポリビニルアルコール (以下 PVA とする) と増粘多糖類を混合して構成される。これを散布して、土壌被膜を形成することにより、粉じん飛散防止効果を発揮する。本材料を地盤面に散布し、約半年間の粉じん飛散防止効果を評価する実験を、既存の生分解性材料と比較して実施した。本材料は侵食防止効果が期待できることから、人工降雨装置を用いて、短期的な大雨の法面侵食実験で効果を確認した。さらに、長期の法面侵食実験を実施し、レーザースキャナーによって土壌侵食量を測定し、土壌被膜の劣化を静止摩擦係数によって評価した。

II. 屋外ヤードにおける粉じん飛散防止実験

1. 試験目的

本材料に期待される性能は、耐候性と生分解性である。既報¹⁾のとおり、雨天を除いた日中のみ屋外暴露を行い、既存

1) 環境本部 Environmental Engineering Division

2) 土木管理本部 Civil Engineering Management Division

キーワード : 膜養生材, 粉じん濃度, 土壌侵食, 3D レーザースキャナー, 静止摩擦係数

Keywords : membrane curing material, dust concentration, soil erosion, 3D-laser-scanner, coefficient of static friction

品と同等の生分解性を確保した上で粉じん飛散抑制効果を180日間維持することを確認している。しかしながら、実際の施工環境で適用するには、降雨に曝される過酷な条件下での性能確認が必要となる。そこで実際に屋外で使用した際も、室内試験と同様の傾向を示すことを確認するため屋外試験を実施した。

2. 試験概要

(1) 材料特性

(a) 本材料

屋外試験には本材料と既存の生分解材料の2材を用いた。本材料は前述のとおりPVACが主材料であるが、PVAC自体は疎水性のため、水中で分散できるよう乳化剤としてPVAを含有している。Fig.1に本材料の被膜形成原理を示す。本材料が土に散布され水分が蒸発すると、疎水性のPVAC同士が融着し土壌被膜を形成する。本材料は形成した被膜強度を高めるため、さらに増粘多糖類を加えている。PVACは土壌微生物によって分解され、PVAを経て、最終的に二酸化炭素と水になる。

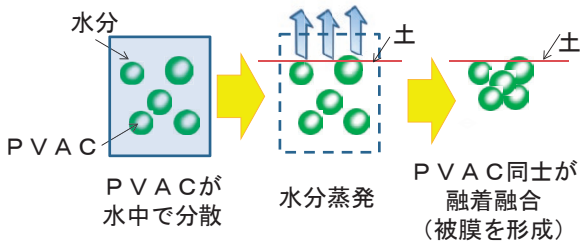


Fig.1 本材料の被膜形成原理

(Membrane Formation Principle of the Material)

(b) 既存の生分解性材料

既存の生分解性材料は、パラゴムの樹液(ラテックス)が原料で、イソプレンの高分子(以下cis-1,4ポリイソプレンとする)が主成分である(Fig.2)。強度、摩耗の耐性および補強材との接着性能などを持つとともに、植物由来の高分子以下cis-1,4ポリイソプレンとする)が主成分である(Fig.2)。強度、摩耗の耐性および補強材との接着性能などを持つとともに、植物由来の高分子化合物のため、生分解性も有している。

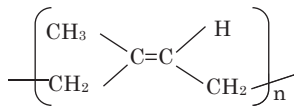


Fig.2 cis-1,4ポリイソプレンの構造
(Structure of cis-1,4-isoprene)

(2) 試験方法

1) 場所

屋外試験は鹿島建設技術研究所に隣接した調布市飛田給の自社用地で2020年9月から2021年2月までの6ヵ月間実施した。試験区は、未散布、本材料、既存の生分解材料の3

条件とし、1区画あたり3m×3mで設定した。試験準備は下記の手順で実施した(Photo 1)。

- ① 敷地の碎石を地表面から10cm分除去した後、場外より購入砂を搬入
- ② 山砂をスコップで均等に敷地に均し、プレートで整地した1区画ごとに、トラロープとアンカーピンで固定
- ③ 未散布を除く材料区間は原液を水で希釈し、作液
- ④ 希釈液をジョウロで散布(2L/m²)・養生



Photo 1 試験準備
(Preparation of Field Test)

(2) 試験土壌

今回、使用した試験土壌は購入した山砂である。Fig.3に試験区画表土の山砂の粒径加積曲線を示す。土質は細粒分礫混じり砂S-FGで、細粒分含有率<75μm 7.6%、均等係数Uc: 3.28、自然含水比Wn: 13.5%であった。表土が乾燥し土粒子が動く風速は、4~5m/sであることが知られている²⁾。土粒子は0.1mm以下で「浮遊」が起こり、0.1~0.2mm土粒子が勢いよく跳ねて転がる「跳躍」が顕著となる。そのため、「浮遊」と、さらに敷地外へ転動することで車両走行による巻き上げの可能性が高い「跳躍」する土粒径(0.2mm以下)は粉じ

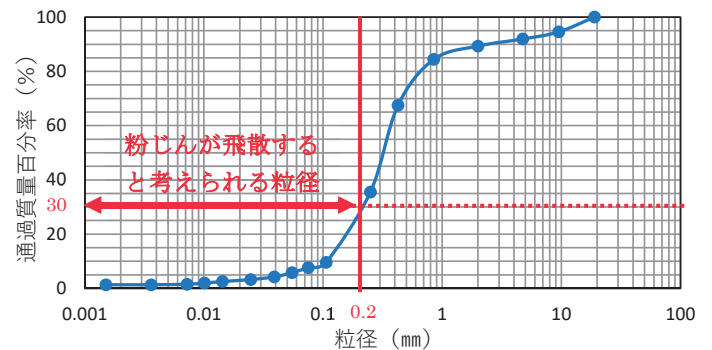


Fig.3 山砂の粒径加積曲線
(Grain Size Accumulation Curve of Pit Sand)

ん飛散のリスクが高いとした。本試験土壌では粒径加積曲線より、0.2mm以下の土粒子は約30%である。

(3) 計測方法

試験は、試験区の対面に送風機とデジタル粉じん計（柴田科学：LD-5R）を3mの距離で設置した後、送風機を稼働させることで区画の土粒子を飛散させ、1分間での粉じん濃度を測定した。なお、試験区に与えた風はビューフォートの風力階級4に相当する。また、風速や地表より1cm深度の表土の含水率も測定した(Photo 2)。測定頻度は、散布前、散布後1, 14, 30, 60, 90, 120, 150, 180日と設定した。

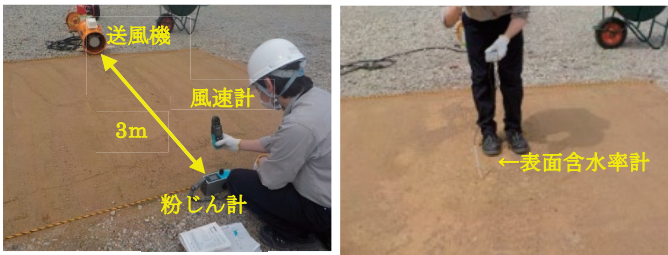


Photo 2 測定風景
(Measurement of Dust Concentration, Wind Speed, and Surface Soil Moisture Content)

3. 試験結果

各試験区における散布前から散布6ヵ月後までの粉じん濃度の結果を Fig.4 に示す。粉じん濃度の評価目安として、建設機械の稼働に係る粉じん基準(以下、粉じん基準) $0.6\text{mg}/\text{m}^3$ ⁴⁾を参考にした。この濃度は視程が2km以下になり、地域住民の中に不快、不健康感を訴える者が増加する³⁾とされている。本材料散布前は3区画とも粉じん濃度が粉じん基準に近かった($0.49\sim 1.3\text{mg}/\text{m}^3$)が、本材料散布区は散布直後(1日後)から粉じん濃度は $0\text{mg}/\text{m}^3$ と大きく低減された。既存の生分解性材料は、時間経過に伴って、が経つにつれて粉じん濃度が上昇し、散布後150日以降は散布前の粉じん濃度とほぼ同じ濃度になった。これは、紫外線劣化や降雨などにより、既存の生分解性材料の土壌被膜の分解が進み、約150日でほぼ分解されたと考えられる。一方、本材料も、徐々に粉じん濃度は上昇傾向であるが、既存の生分解性材料よりも粉じん防止効果を示し、散布後180日を経過しても、粉じん濃度は散布前の約1/22に低減された。また、未散布の区画と比較すると粉じん濃度は約1/184であり、既存の生分解性材料と比較すると1/18程度に低減した。各試験区における散布前から散布6ヵ月後までの風速の結果を Fig.5 に示す。なお、粉じんが飛散する風速の条件として、 $5\text{m}/\text{s}$ 以上の風速とした。送風機を稼働して風速を測定した結果、ほとんどの測定日で $5\text{m}/\text{s}$ 以上の風速を記録した。測定に際して、同じ測定日でも $1\sim 1.4\text{m}/\text{h}$ のバラつきがみられたが、自然風の風向・風速によって送風機からの風が影響を受けたと考えられる。これに

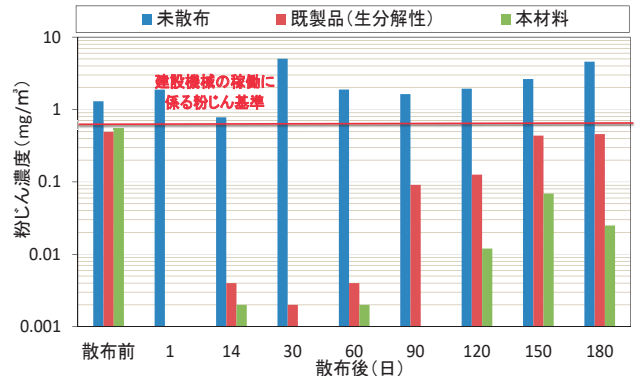


Fig.4 経時的な粉じん濃度
(Dust Concentration over Time)

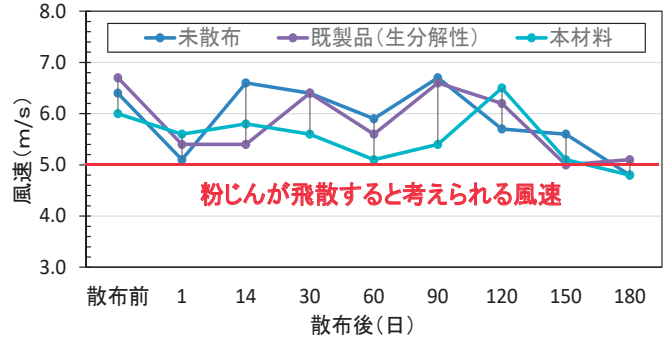


Fig.5 経時的な風速
(Wind Speed over Time)

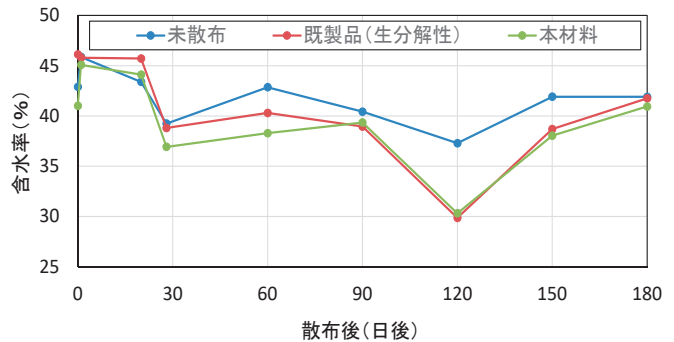


Fig.6 経時的な表面含水率
(Surface Moisture Content over Time)

相当する風速は、前述した乾燥した表土の土粒子が動いたり、砂ぼこりが立ち、粉じん等が飛散するビューフォート風力階級の風力4に相当にしている⁵⁾。よって、与条件として妥当と考える。各試験区における散布前から散布6ヵ月後までの表面含水率の結果を Fig.6 に示す。表面含水率は、土壌被膜の内側の含水率を得るためプローブを地中に差し込んで土壌中の含水率計を測定した。測定器の精度や測定日のバラつきはあるが、概ね材料を散布していない未散布区の方が材料散布区より含水率が高い傾向を示した。これは、土壌被膜を形成することにより、未散布区よりも雨水が表土中に浸透せず、土壌被膜が雨水浸透防止効果を発揮したためと考えられる。また、表面含水率計の結果に有意な差は見られなかったが、降雨時の試験ヤードの様子(Photo 3)からも、雨水浸透防

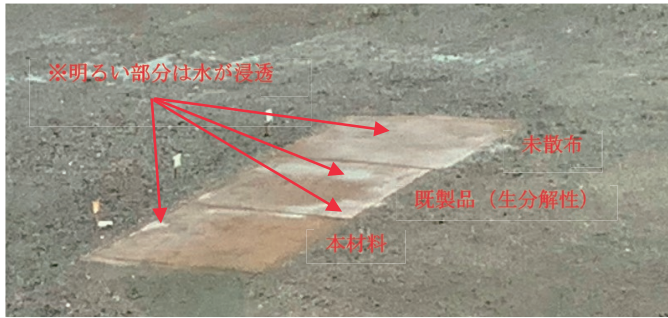


Photo 3 降雨時の試験ヤード状況
(Situation of Field Test during Rainfall)

水効果は、PVAC が主成分の本材料が高いと考えられる。

Ⅲ. 屋外ヤードにおける法面侵食防止実験

1. 試験目的

造成現場等では仮置き土や盛土なども多く、それらから発生する粉じん飛散だけでなく、降雨後の法面の侵食による崩落法尻への堆積、河川への濁水流入が懸念されている。また、近年何十年に一度という豪雨が各地で観測され、現場では台風をはじめとした豪雨時の法面侵食が大きな課題になっている。一般的な侵食防止対策として、シート養生材による法面や切土被覆があるが、大規模になれば設置・撤去のコストや設置の困難さ、のり面作業上の安全確保など課題が多い。そのため、土壤被膜の形成が可能な本材料を活用することで、安全で施工が容易な安価な法面侵食防止対策の実現が期待できる。そこで、既報⁶⁾のとおり本材料における大雨の基準以上の設定降雨による法面侵食防止効果の検証を目的として、人工降雨装置を用いた法面土壌の侵食量測定試験を実施し、侵食防止性能を評価した。

その結果、本材料は 80mm/h×1h での設定降雨の時、侵食土壌量は既存の対候性材料を 100%とした時、約 10%に低減できた⁶⁾。また、風向・風速などの自然条件やより現場に近い条件での屋外法面試験では、小型の法面(法長:約 2m)に対し、人工降雨装置が 50mm/h×2.5h での設定雨量の時、未散布土壌は早々に崩落してしまったのに対し、本材料は既存の対候性材料と同等以上に土壌侵食量を低減した⁷⁾。これらの試験結果から、本材料が一時的な大雨に対して法面侵食防止効果を有することが明らかになったので、実規模の法面において、法面保護の長期安定性を確認することや、降雨などによる土壤被膜の劣化を評価することで、侵食土壌量の発生傾向で把握できないか検討した。

2. 試験概要

(1) 試験ヤード・準備

屋外試験は神奈川県横浜市内の造成現場の盛土を利用し、2020年10月～2021年2月の約4ヵ月間実施した。試験区画は、未散布、本材料、既存の対候性材料の3区画とし、1区

画あたり法長 5.7m×幅 4.9m の敷地を試験ヤードとした。試験の準備は下記の手順で実施した (Photo 4)。

- ① 法面勾配は道路土工指針を参考に盛土高さ 5 m～区画はトラロープとアンカーピンで固定
- ② 運搬車 (2t 車) に資機材を詰め、ダイライトタンクに散水車と攪拌機で作液
- ③ エンジンポンプとサクシオンホースで散布 (3L/m²) し、約 1 日養生



Photo 4 施工試験準備
(Preparation of Construction Test)

(2) 試験方法

法面表土の侵食土壌を評価するため、法面表面の形状の変化を経時的に測量した。形状の変化は、法面から離れた定点を定め、地上レーザースキャナーを用いて三次元点群測量した。取得した測量データをもとに Leica Scan Station P20 解析ソフトを使用し、散布直後からの侵食土壌量や法面の形状変化コンター図を作成した⁸⁾。

被膜効果持続性の判定には静止摩擦計を用い、物体が面上を動き始める瞬間の静止摩擦力を求めた。静止摩擦力は $f_0 = \mu N$ (f_0 : 静止摩擦力, N : 垂直抗力) の式が示すように「接触面の状態: μ 」と「面を押し付ける力: N 」で決まるため、静止摩擦係数は接触面の滑りにくさの指標となる。散布前は土粒子自体の感触はザラザラしているが、土壤表面としては軟らかく土粒子が容易に移動し抵抗がない状態だった。散布後に土壤被膜が形成されると、不均質な土粒子が接着され固結することから、土壤表面のザラザラとした粗さが増し、静止摩擦係数は散布前より散布後に数値が大きくなる。しかし、本材料は時間の経過と共に散布前の土壌に徐々に戻っていくので、静止摩擦係数は低下していくと予想し、法面の被膜劣化を把握する評価手法として静止摩擦計を用いる評価法を試みた。レーザースキャナーの測定頻度は、散布前の初期値 (1回目)、散布後 16 日 (2回目)、散布後 129 日 (3回目) の計 3 回実施した。ポータブル摩擦計は散布後 1, 14, 28, 69, 130 日の計 5 回計測した (Photo 5)。



Photo 5 測定風景

(Measurement of 3D-Laser-Scanner and Portable Friction)

3. 試験条件

(1) 試験土壌

盛土材の土質は細粒分質礫質砂（細粒分含有率<75 μ m : 37.7%, 均等係数 U_c : 48.17, 自然含水比 W_n : 43.6%）である。一般的に砂質土からなる法面は侵食に弱いとされ⁹⁾, 本現場の土質も砂質土に該当するため, 無対策の未散布区では降雨による崩落などを受けやすい土質であると考えられる。

(2) 降雨量

試験期間中の気象庁による横浜市の降水データを Fig.7 に示す。図中にレーザースキャナーとポータブル摩擦計の測定日をあわせて示す。試験期間中に最大降水量を観測したのは, 低気圧通過時の試験 5~8 日目の 4 日間で, この期間の最大降水量は 6mm/h, 合計降水量は 135mm であった。なお, 試験期間を通して合計降水量は 228mm だった⁸⁾。



Fig.7 横浜市の施工試験中の降雨量

(Rainfall during Construction Test Period in Yokohama City)

4. 試験結果

(1) レーザースキャナー

侵食土壌量は, 法面の凹凸の 3 次元計測手法より得られた点群データからコンター図を作成し, 初期観測データと各回の観測データとの差分量から侵食した体積を求めた。散布後 16 日目 (2 回目) 測量時の侵食土壌量のコンター図を Fig.8 に示す。未散布の緑~青に変色部分は, 散布後 8 日までの降雨により法面が大きく崩落した箇所であり, 未散布区は放置すると隣接する区画まで大きく崩れる危険性があり, 土壌を搬入して再度法面を整形したため, 未散布区のみ, 散布後 16 日目でレーザ測定を終了した。

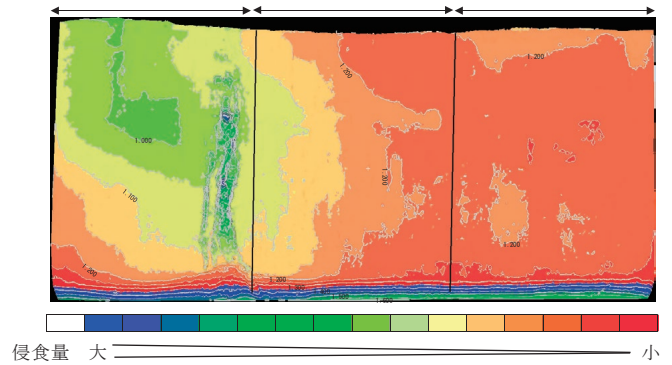


Fig.8 散布後 16 日目(2 回目)測量のコンター図
(Contour Map of Survey 16 Days after Spraying (the Second Survey) of Each Section)

(2) 侵食土壌量と静止摩擦係数

各区画の試験期間中の侵食土壌量とポータブル摩擦計による静止摩擦係数の結果を Fig.9 に示す。侵食土壌量では散布後 16 日で未散布区の侵食土壌量は 0.29m³であったが, 本材料と既存の対候性材料の区画は, コンター図上では差があるように見えるが, 盛土全体が不等沈下しており, 既製品の基準点に合わせて面積変換を行うと, 各々の差はなくなり, ほぼ侵食は確認されなかった。試験 129 日目では材料散布区間にも侵食土壌量が認められたが, 本材料は 0.03 m³, 既存の対候性材料侵食土壌量 0.01 m³ であり, 2 週間強で終了した未散布区の 0.29m³ と比較して約 1/10 であった。一方, 静止摩擦係数は, 本材料は散布後 1 日に 0.68 だったが, 散布後 130 日に 0.55 となり, 低減傾向となった。既存の対候性材料は散布後 1 日は 0.52 で, 多少バラつきはあったが, 散布後 130 日まで測定値はほぼ低下していなかった。未散布区では 0.2~0.25 を推移しており, ほとんど測定値に変化がなかった。以上より, 土壌被膜の劣化を静止摩擦係数で評価したところ, 本材料の静止摩擦係数が低下傾向を示した。その後, 結果的に侵食が発生していたため, 静止摩擦係数から土壌被膜の侵食抵抗性を把握できると思われる。

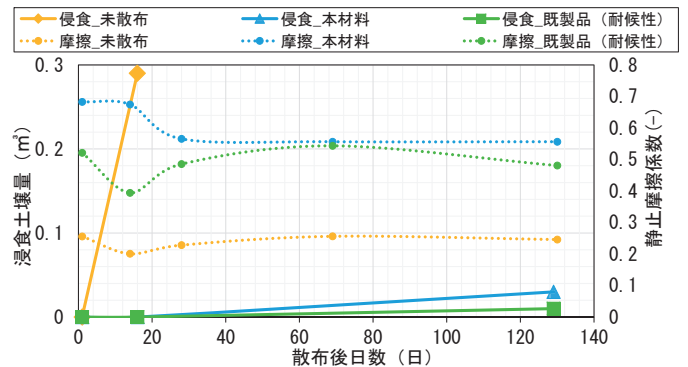


Fig.9 試験期間中の侵食土壌量と静止摩擦係数
(Amount of Eroded Soil and Coefficient of Static Friction during Construction Test)

IV. おわりに

本材料は、粉じんが飛散する土粒子径を約 30%含有する土壌において、粉じんが発生する約 5m/s の風速条件下でも 180 日間にわたって粉じん飛散防止効果を得ることができた。降雨時の浸透性を確認すると、PVAC と cis-1,4 ポリイソプレンは疎水性ではあるため、いずれも土壌被膜による雨水浸透防止効果がある程度期待できるが、雨天時の観察では本材料の方がより雨水浸透防止効果が高かった。これは、材料原料の異なる生分解性工程や化学構造が影響していると考えられる。また、試験期間中は夏季から冬季にかけて実施したため、強い紫外線や降雨を受けながらも、既存の生分解性材料より継続して粉じん濃度を低減できた。この結果から、本材料は耐候性が高い材料と考えられ、屋外においても良好な粉じん飛散防止効果を確認できた。法面の侵食防止効果については、短時間の大雨に対して侵食防止効果を確認した後、長期法面試験を実施し、侵食が起りやすい砂質土壌に対して、散布後 129 日（約 4 ヶ月間）まで、既存の対候性材料と同等の法面侵食防止効果を確認した。土壌被膜の劣化を把握するため、土壌表面の静止摩擦係数で評価した結果、土壌侵食の発生予測に使用できる可能性が示された。しかし、ポータブル摩擦計は傾斜では正確な測定値を出せないため、定点での写真撮影による法面の侵食確認を平行して行うことが望ましい。今後、本材料は生分解性材料である特性を利用し、植生用の種子を入れた種子吹付により、短期的には皮膜による保護が、長期的には植生による保護が可能となる技術として改良していきたい。

謝 辞

これまで MAK フォーマー[®]20 に関する試験にご協力頂きました関係各所の皆様には深く御礼を申し上げます。今後は新たな現場への適用を目指すとともに、更なる用途拡大を視野に日々技術開発に取り組んでいきたいと思っております。

参考文献

- 1) 大橋麻衣子ほか；開発粉じん飛散防止材の試験評価—強度・生分解性が求められる一般工事への展望—, 第 24 回地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会, S5-23, 2018.10, pp.849-850.
- 2) 真木太一ほか；農地の保全と防災（その 3）-風食-, 農業土木学科誌, 53 巻 8 号, 1985, pp.713-719.
- 3) 国道交通省国土技術政策総合研究所, 国総研資料第 714 号, 道路環境影響評価の技術手法, 2013.3, p-2-4-2-.
- 4) 大橋麻衣子ほか；耐候性と生分解性を有する粉じん飛散防止材の一般工事における適用性の評価, 令和元年度土木学会全国大会第 74 回年次学術講演会, VI-1079, 2019.9.
- 5) 横須賀市, 横須賀ごみ処理施設環境影響予測評価書案, 別添 5-2-3 予測評価（発生土処分場の建設）, 2013.11, p801.
- 6) 河野麻衣子ほか；膜養生材による法面侵食防止効果の検討, 令和 2 年度土木学会全国大会第 75 回年次学術講演会, VI-986, 2020.9.
- 7) 河野麻衣子ほか；粉じん飛散防止材の散布による降雨時の法面侵食防止効果, 第 14 回地盤改良シンポジウム論文集, 2020.12, pp.277-282.
- 8) 田淵哲也ほか；令和 3 年度土木学会全国大会第 76 回年次学術講演会, VI-69, 2021.9.
- 9) 三重県；改定宅地等開発事業に関するマニュアル, 7 章, 2018.4.

Study on Effects of Membrane Curing for Dust Scattering Prevention and Slope Erosion Control

Maiko Kawano, Tetsuya Tabuchi¹⁾, Kensuke Kitada¹⁾ and Takanobu Sueyosh²⁾

The membrane curing material MAK-Former.20, which was improved in 2020, has been confirmed to have good biodegradability and excellent weather resistance in laboratory tests. In this study, we conducted a field test to acquire quantitative data on the dust scattering prevention and slope erosion control of the material. The effect of dust scattering prevention was superior to that of other companies' products. In addition, a construction test was conducted on the long-term erosion prevention effect for a slope at a construction site, and it was confirmed that the effect lasted for 4 months. When we examined the results of the test to determine the deterioration in the soil membrane by using a portable friction meter, it was found that the occurrence of eroded soil and decrease in the coefficient of static friction were related.