

# ポリオンコンプレックスを利用した粉塵飛散抑制技術の検討

粉塵飛散抑制効果, 耐雨性能・土砂流出抑制効果に関する実験的研究

## EXAMINATION OF DUST SCATTERING SUPPRESSION TECHNOLOGY USING POLYION COMPLEX

Experimental study of dust scattering suppression effects, rain resistance performance, and soil runoff suppression effects

稲邊 裕司\*1, 富貴 丈宏\*2, 田中 徹\*1

Yuuji INABE, Takehiro FUKI and Tooru TANAKA

Dust caused by moving construction vehicles and strong winds near civil engineering projects can cause health hazards. We investigated a technology to prevent scattering of dust using a polyion complex (hereinafter referred to as PIC), which is used for decontamination of radioactive substances by immobilizing and stripping the topsoil and using an erosion preventive agent for contaminated soil. PIC is an electrolyte complex formed when polymers with different polarities of positive and negative charges are mixed in an aqueous solution. In this report, we report the following. 1) After curing the soil sprayed with a sample, we blow it with a blower, and the dust scattering prevention effect of each sample was evaluated based on the amount of sediment loss. 2) The artificial rainfall equipment was used to produce rainfall onto the soils sprayed with the test specimens, and the rain resistance performance of each test specimen was evaluated from the sediment runoff amount. As a result, the two types of PIC specimen gained the most advantageous result of more than 90% of the dust scattering suppression effect during a 15m/s air flow and 1/5 of sediment runoff at 80 mm/h rainfall compared with untreated soil.

**Keywords:** Polyion complex, Polymeric compounds, Suppression of dust scattering, waterproof performance  
 ポリオンコンプレックス, 高分子化合物, 粉塵飛散抑制, 耐雨性能

### 1. はじめに

土木工事などの作業現場において、粉塵は強風や工事車両の走行によって発生し、作業員が吸引することで健康被害を引き起こす原因となる場合がある。現状、粉塵の発生対策として、散水や鉄板の敷設等が行われているが作業効率が悪く、コストの増加等が課題となっている。

筆者らは、対策の一つとして、ポリオンコンプレックス(以下、PIC という)を利用した粉塵飛散抑制技術の開発を行った。PIC とは、正電荷と負電荷の極性の異なる高分子同士を水溶液中で混合した際に形成される電解質複合体である。PIC は、土壌表層を固定化・剥ぎ取りをすることによる放射性物質の除染<sup>1)</sup>や汚染土壌の浸食防止剤<sup>2)</sup>として使用されている。

図 1 に正電荷の高分子化合物と負電荷の高分子化合物を液中に分散させた PIC と、散布後の土壌中での PIC の状況を示す。

試験体を土壌に散布後、1~2 日間かけて乾燥させることで、高分子化合物の分子鎖が土壌中の土粒子と絡まりあって固着し、土壌を固定化する。

本報では、以下に示す PIC の粉塵飛散抑制効果と耐雨性能を評価した結果について報告する。

- 1) 試験体を散布した土壌を養生後、送風機で風を当て、その土砂減量分から各試験体の粉塵飛散抑制効果を評価した。
- 2) 人工降雨装置を使用して試験体を散布した土壌に降雨し、その土砂流出量から各試験体の耐雨性能を評価した。



↓ 土壌に散布

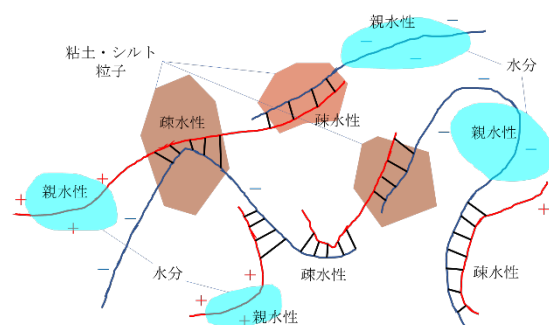


図 1 (上) 散布前の液中に分散させた PIC  
 (下) 散布後の土壌中の PIC の状況

\*1 戸田建設株式会社技術開発センター 修士 (工学)

Technology Development Center, TODA CORPORATION, M.Eng.

\*2 戸田建設株式会社技術開発センター 修士 (農学)

Technology Development Center, TODA CORPORATION, M.Agr.

## 2. PICの概要

表1に本工法で使用するPICの成分高分子化合物を示す。

PICを構成する正電荷の高分子化合物としては、水処理、紙・パルプ、塗料・インキ分野などに活用されているDADMACを使用した。負電荷の高分子化合物としてはセルロース系化合物で食品、土木、医療・化粧品分野などに活用されているCMCと、合成系の高分子化合物で生理用品、食品、水処理分野等で活用されているPAAcNaを使用した。

図2、図3、図4にそれぞれの高分子化合物の化学式を示す。

PICを構成する正電荷の高分子水溶液と負電荷の高分子水溶液をモル比1:1で混合すると、電荷が±0となり、分散状態にあった高分子化合物が互いを引き付けあい、分散状態を保てなくなり凝集沈殿する。PICは凝集沈殿すると土壌への均一な散布が困難になる。これを避けるために、PICに塩化ナトリウムなどの塩を加えることによって高分子間の静電相互作用を弱め、凝集沈殿の形態にならないようすることが知られている<sup>3)</sup>。しかし、高濃度の塩が入ったPICを土壌に散布した場合、塩害の懸念が生じる。そこで本研究においては、正電荷または負電荷の高分子化合物の配合比率を変えることでPICが分散状態を保ち、容易に散布できるようにしている。

## 3. 試験概要

### 3.1 試験項目

本報告では下記の2項目について検証を行った。

#### ① 粉塵飛散抑制効果の検証

粉塵の飛散防止に適したPICの種類、配合比率、濃度、散布量を選定するために、試験体を土壌に散布・養生後、送風機で土壌表面に風を当て、その土砂の減量分から各試験体の粉塵飛散抑制効果を評価する。

#### ② 耐雨性能の検証

人工降雨装置を使用して、試験体を散布した土壌に雨を降らせ、その土砂の流出量から耐雨性能を評価する。

### 3.2 試験材料

前述の2.PICの概要の通り。

### 3.3 供試土

本試験では当社が施工する造成工事の現場から土壌を採取し、風乾後4.5mmのふるいに通したものを供試土として使用した。

図5に供試土の粒径加積曲線を示す。また、表2に供試土の性状を示す。

供試土の性状は、JISA1202土粒子の密度試験、JISA1204土の粒度試験、JISA1210突固めによる土の締固め試験を行い、それぞれ求めた。図6に造成工事の現場と供試土用に採取した土壌を示す。



図6 (左) 造成工事の現場(右) 供試土用に採取した土壌

表1 本工法で使用するPICの成分高分子化合物

極性	正電荷の高分子化合物	ポリジアリルジメチルアンモニウムクロライド (以下、DADMACという)
	負電荷の高分子化合物	カルボキシメチルセルロース (以下、CMCという) ポリアクリル酸ナトリウム (以下、PAAcNaという)

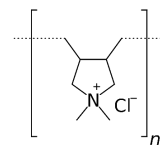
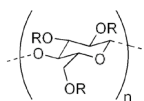


図2 DADMACの化学式



R = H or CH<sub>2</sub>CO<sub>2</sub>H

図3 CMCの化学式(Rの一部がCH<sub>2</sub>CO<sub>2</sub>Hになっている)

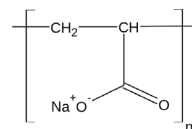


図4 PAAcNaの化学式

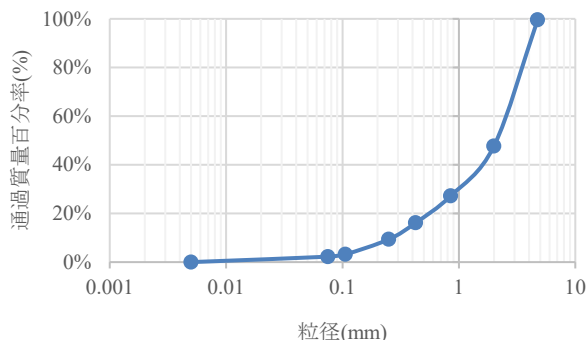


図5 供試土の粒径加積曲線

表2 供試土の性状

試験項目	単位	供試土	
土粒子の密度	g/cm <sup>3</sup>	2.447	
粒度	礫分	%	0.0
	砂分	%	96.9
	シルト分	%	1.0
	粘土分	%	2.2
最大乾燥密度	g/cm <sup>3</sup>	1.039	
最適含水比	%	54.8	

## 4. 粉塵飛散抑制効果の検証

### 4.1 試験方法

本試験では粉塵の飛散防止に最適な PIC の種類, 配合比率, 濃度, 散布量の選定を行う。

試験の手順を下記に示す。

- (1) コンテナ(寸法:166mm×106mm×86mm)に供試土約 30mm の供試土の充填ごとに突き棒(150g, 直径 25mm)を 50mm の高さから落として締固めることを全面的に行った。これを 3 回行い充填した。
- (2) 充填した供試土に表 3 に示す試験体を噴霧器で散布し, 温度 20℃, 湿度 60%の屋内にて 48 時間養生をした。
- (3) 養生後, 供試土の重量を測定した後に, 送風機(ボッシュ株式会社:ブロー GBL800E)によって気象庁の定める“風の強さと吹き方”<sup>4)</sup>より, 「強い風」に分類される 15m/s の条件で 5 分間供試土表面に対して送風した。図 7 に送風試験の状況を示す。
- (4) 送風後に供試土の重量を測定し, 送風前との重量差から粉塵飛散量を計算した。尚, 粉塵飛散量については, 各試験体につき試験を 3 回行い, 平均粉塵飛散量を求め, 評価をした。

### 4.2 試験結果

図 8 に各試験体を散布した供試土からの平均粉塵飛散量, 図 9 に各試験体の粉塵飛散低減率(以下, 低減率という)を示す。

低減率は T-0(未処理)での粉塵飛散量に対する各試験体の粉塵飛散量の比率を表しており, 計算式を式(1)に示す。計算式中の y は低減率, D は各試験体の平均粉塵飛散量, D<sub>0</sub> は T-0 の平均粉塵飛散量を表している。

$$y = 1 - \frac{D}{D_0} \quad (1)$$

T-1(散水)の平均粉塵飛散量は 356.35g, 低減率は 31.6%であった。従来の粉塵飛散対策として用いられている散水は 3 割程度の低減効果しかないことが示された。

図 10, 図 11 に T-0, T-1 の送風試験後の状況をそれぞれ示す。

T-2, T-3 及び T-4 は, 市場に出ている既存製品の散布量が 2L/m<sup>2</sup> のものが多い中, 散布量を 5L/m<sup>2</sup> と 2 倍以上に設定して行った。平均粉塵飛散量と低減率の結果は, T-2 が 31.96g で 93.9%, T-3 が 20.44g で 96.1%とそれぞれで優位な結果が得られた。一方で, DADMAC の配合比率が高い T-4 に関しては 416.14g で 20.2%と粉塵飛散抑制効果は見られなかった。

低減率の高かった DADMAC : CMC=1:3 の配合比率の T-2(散布量 5L/m<sup>2</sup>)から散布量を減らした T-5(散布量 1L/m<sup>2</sup>), T-6(散布量 2L/m<sup>2</sup>)に関しては低減率が T-2 よりも低くなり 90%を下回った。これより, 散布量を減らすと粉塵飛散抑制効果は減少することが示された。図 12 に T-6 の送風試験後の状況を示す。15m/s の送風で供試土表面が崩壊することが確認できた。



図 7 送風試験の状況

表 3 試験条件

試験体	内容	配合比率			散布量 L/m <sup>2</sup>	濃度 %
		DADMAC	CMC	PAAcNa		
T-0	未処置					
T-1	散水				5	
T-2	PIC-①	1	3		5	1.0
T-3	UO-53A	1		1	5	
T-4	PIC-②	43	1		5	0.5
T-5	PIC-③	1	3		1	
T-6	PIC-④				2	
T-7	PIC-⑤				1	
T-8	PIC-⑥	1	5		2	
T-9	PIC-⑦	1	7		1	
T-10	PIC-⑧				2	
T-11	PIC-⑨	1	5		2	
T-12	PIC-⑩				3	
T-13	PIC-⑪				2	
T-14	PIC-⑫	1	7		3	
T-15	PIC-⑬				1	1.0
T-16	PIC-⑭	1	20		2	
T-17	PIC-⑮				1	0.8
T-18	PIC-⑯				2	
T-19	PIC-⑰				1	1.0
T-20	PIC-⑱	1	40		2	
T-21	PIC-⑲				1	0.8
T-22	PIC-⑳				2	
T-23	UO-52A	9		11	2	1.0
T-24					3	
T-25	UO-53A	1		1	2	
T-26					3	
T-27	UO-54A	11		9	2	
T-28					3	



一方で、DADMAC : CMC=1 : 5, 1 : 7, 1 : 20, 1 : 40 の配合比率にすることで、散布量を 5L/m<sup>2</sup> から 2L/m<sup>2</sup> に減らしても低減率 90% を超える粉塵飛散抑制効果があることが確認できた。図 13 に T-0 に対する低減率が最も高かった T-10(DADMAC : CMC=1 : 7) の送風試験後の状況を示す。15m/s の送風でも供試土表面は崩壊せずに固定化されていることが分かる。尚、T-8, T-16, T-20 も同様の状況であった。

しかし、DADMAC : CMC=1:40 の配合比率では、濃度 1.0% では粘度が高く、散布時においては霧状に散布することが困難となり施工性が低下した。濃度を 0.8% とすることで、霧状に散布することが可能になり、尚且つ、低減率 90% 以上と、優位な粉塵飛散抑制効果も得られた。

試験体の濃度は、高い方が粉塵飛散を抑制する上では優位に働くことが示唆された（濃度 0.5% よりも濃度 1.0% の方が平均粉塵飛散量は少ない）。

化学メーカーにて開発された UO-52A, UO-53A, UO-54A は DADMAC と PAACNa を混合した状態で溶解させたものであり、電気的に中性(或いは近傍)であっても沈殿物が発生しないように pH 処理等で調整されている。T-3(UO-53A, 散布量 5L/m<sup>2</sup>) では低減率 90% と高い粉塵飛散抑制効果が得られたが、T-22(UO-53A, 散布量 2L/m<sup>2</sup>) 及び T-23(UO-53A, 散布量 3L/m<sup>2</sup>) では粉塵飛散を抑えることができなかった。一方で、T-28(UO-54A, 散布量 3L/m<sup>2</sup>) については、未処理時と比較して低減率 90% 以上の粉塵飛散抑制効果が得られた。

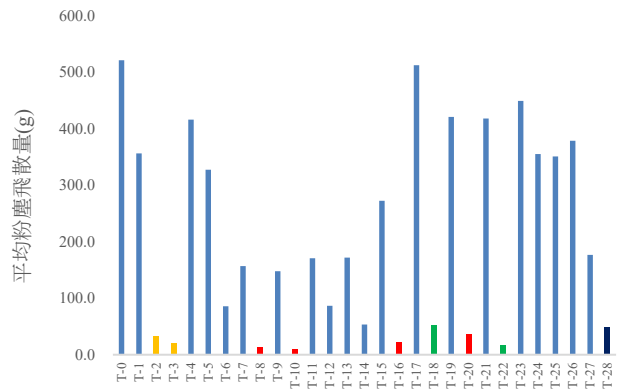


図 8 各試験体を散布した供試土からの平均粉塵飛散量

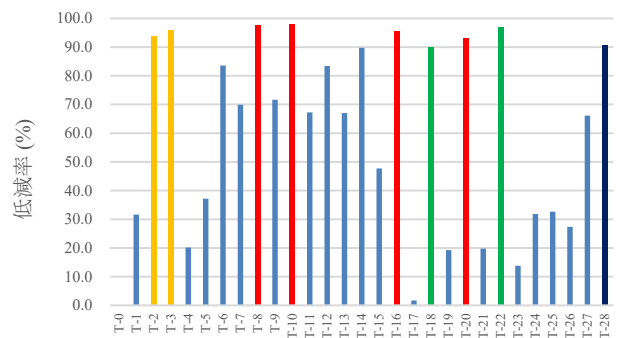


図 9 各試験体の粉塵飛散低減率



図 10 T-0(未処理)の送風試験後の状況



図 11 T-1(散水)の送風試験後の状況



図 12 T-6(DADMAC:CMC=1:3, 散布量 2L/m<sup>2</sup>, 濃度 1%) の送風試験後の状況



図 13 T-10(DADMAC:CMC=1:7, 散布量 2L/m<sup>2</sup>, 濃度 1%) の送風試験後の状況

## 5. 耐雨性能の検証

### 5.1 試験方法

表 4 に試験条件について示す。

試験に関しては、未処理及び従来の粉塵飛散対策として実施されている散水の比較対象 2 種、前述の粉塵飛散抑制効果の検証において優位な結果が得られた開発品 7 種、市場に存在する既存製品 2 種の計 11 種を対象とした。既存製品についてはメーカーの推奨する散布量で試験を行った。

試験は 4m×7m の範囲に人工降雨機(株式会社テクノコア：レインカーテン)、給水ポンプ(株式会社工進：モーターポンプ JM-25H)、貯水タンク(コダマ樹脂工業株式会社：タマローリー AT-2000)を設置して行った。

試験の手順を下記に示す。

- (1) 排水付コンテナ容器(内寸：246mm×165mm×96mm) に供試土を充填する。また、降雨によってコンテナ容器内に水が満たされた状態でも、降雨が常に供試土に当たるようにするため、コンテナ容器の縁より高さ 1.0cm 余剰に供試土を充填した。
- (2) 充填した供試土に表 4 に示す試験体を噴霧器で散布し、温度 20℃、湿度 60%の屋内にて 24 時間養生をした。
- (3) 養生後、人工降雨機にて供試土に降雨した。降雨に強さは局所的な大雨として 50 mm/h 以上の時間雨量を集計した国土交通省の気候変動に適應した治水対策検討小委員会<sup>5)</sup>の資料を参考に、80mm/h の条件とした。これは気象庁に定める「雨の強さと降り方」によると「猛烈な雨」に該当する<sup>6)</sup>。降雨は 1 時間継続した。図 14 に降雨試験の状況を示す。供試土から流れ出た水に関しては、土砂を含めてすべて回収した。
- (4) 回収後、土砂を含む水を吸引ろ過にて水と土砂に分離した。分離した土砂は 110℃の乾燥炉内で絶乾させたのちに流出土砂量として計測した。尚、流出土砂量については、各試験体につき試験を 3 回行い、平均流出土砂量を求め、各試験体で固定化した供試土の耐雨性能として評価をした。

### 5.2 試験結果

図 15 に各試験体を散布した供試土からの平均流出土砂量を示す。

流出土砂量が最大値の R-0(未処理)に対し、最小値の R-3(DADMAC : CMC=1 : 7)では、約 1/4 に低減した。図 16 に R-0、図 17 に R-3 の降雨試験前後の供試土の状況を示す。R-0 では、試験後には余剰に盛り上げた供試土が容器の縁まで崩れている。一方で R-3 では、試験後に供試土の崩れは見られなかった。

本試験では、供試土を充填したコンテナ容器を地面に対して水平に設置したため、供試土に接触した雨はすぐに浸透し、コンテナ容器下部の排水口より水が排水されていた。つまり、供試土表面の土壌を崩す前に水が浸透しているため、土砂が流出しにくい状況にあったと考えられる。そこで、流出土砂量の差を大きくし、PIC による土壌固定化の優位性をより明確にするために追加試験を行った。

表 4 試験条件

系統	試験体	内容	配合比率			散布量 L/m <sup>2</sup>	濃度 %	
			DADMAC	CMC	PAAcNa			
比較対象	R-0	未処置	/			5	/	
	R-1	散水						
	R-2	PIC-⑥						1
開発品	R-3	PIC-⑧	1	7	/	2	1.0	
	R-4	PIC-⑭	1	20		2	1.0	
	R-5	PIC-⑰	1	20		2	0.8	
	R-6	PIC-⑱	1	40		2	1.0	
	R-7	PIC-⑳	1	40		2	0.8	
	R-8	UO-54A	11			9	3	1.0
	既存製品	R-9	他社製品 A	/			2	-
R-10		他社製品 B	4				-	



図 14 降雨試験の状況 (左) 散水ノズル(右) サンプル設置

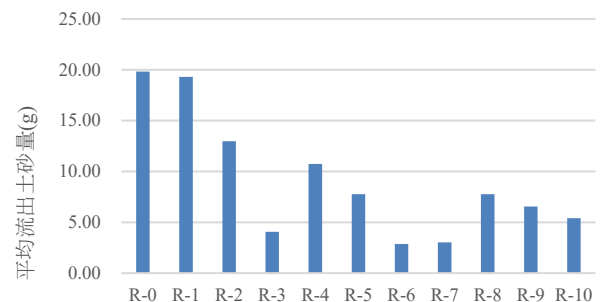


図 15 各試験体を散布した供試土からの平均流出土砂量

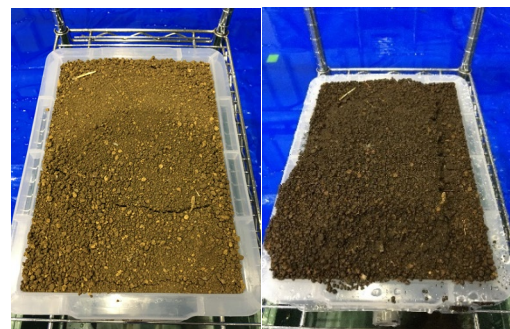


図 16 R-0(未処理)の降雨試験前後の状況 (左) 試験前(右) 試験後



## 6. 耐雨試験の追加検証

### 6.1 試験方法

表5に試験条件について示す。

試験に関しては、未処理及び従来の粉塵飛散対策として用いられる散水の比較対象2種、前述の耐雨性能の検証において優れた結果が得られた開発品2種、市場に存在する既存製品2種の計6種を対象として行った。また、既存製品についてはメーカーの推奨する散布量にて試験を行った。

試験方法は前述の耐雨試験と同様に、4m×7mの範囲に人工降雨機、給水ポンプ、貯水タンクを設置して行った。

試験の手順を下記に示す。

- (1) 排水付コンテナ容器(内寸：246mm×165mm×96mm)に供試土を充填する。この際、コンテナ容器の縁より高さ1.0cm余剰に供試土を充填し、余剰分の供試土は絶乾質量で400gに統一した。
- (2) 充填した供試土に表5に示す試験体を噴霧器で散布し、温度20℃、湿度60%の屋内にて24時間養生をした。
- (3) 養生後、コンテナ容器を設置する際には、高さ90mmの枕木を使用して、角度35°となるようにコンテナ容器を傾けて設置した。設置の状況を図18に示す。角度をつけることで、降雨によって土砂が流れやすい状況を再現した。
- (4) 人工降雨機の降雨に強さは、前述の降雨試験と同様に80mm/hの条件とし、1時間継続した。供試土から流れ出た水に関しては、土砂を含めてすべて回収した。
- (5) 回収後、土砂を含む水を吸引る過程にて水と土砂に分離した。分離した土砂は110℃の乾燥炉内で絶乾させたのちに流出土砂量として計測した。尚、流出土砂量については、各試験体につき3つのサンプルを対象に行い、平均流出土砂量を求め、各試験体で固定化した供試土の耐雨性能として評価をした。

### 6.2 試験結果

図19に各試験体を散布した供試土からの平均流出土砂量を示す。

全体として、地面に対して水平に容器を設置させた場合と比較して角度35°をつけて設置すると、流出土砂量は大きくなる傾向にあった。比較対象のY-0、Y-1に関しては、水平に設置した場合と比較して流出土砂量に2.5倍の差があった。

開発品Y-2、Y-3に関しては、比較対象2種と比較すると流出土砂量は1/5程度となっており、比較対象よりも土砂の流出を約80%抑制することができた。

既存製品に関しては、Y-4の他社製品Aは開発品2種と比較して耐雨性能は低いことが示された。これは他社製品Aの主成分であるポリ酢酸ビニル樹脂が水溶性であるため、土壤中で固定化していた樹脂が、雨水で溶けて流されたからであると考えられる。一方で、Y-5の他社製品Bでは、耐雨性能は開発品2種と同程度であることが示された。他社製品Bでは不溶性ポリマー(詳細は不明)を使用しており、乾燥後は水に溶けないため、雨水で土砂が流出せずに固定化し続けることができたと考えられる。

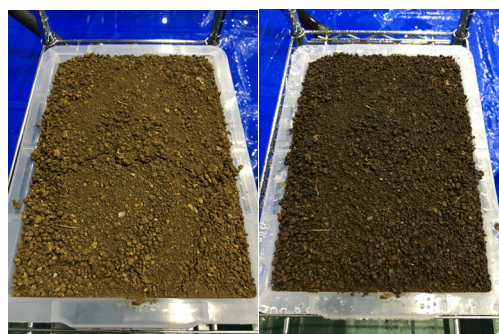


図17 R-3(DADMAC : CMC=1 : 7)の降雨試験前後の状況  
(左)試験前(右)試験後

表5 試験条件

系統	試験体	内容	配合比率			散布量 L/m <sup>2</sup>	濃度 %
			DADMAC	CMC	PAACNa		
比較対象	Y-0	未処置	/			/	/
	Y-1	散水	/			5	/
開発品	Y-2	PIC-⑧	1	7	/	2	1.0
	Y-3	PIC-⑱	1	40	/	2	1.0
既存製品	Y-4	他社製品A	/			2	-
	Y-5	他社製品B	/			4	-

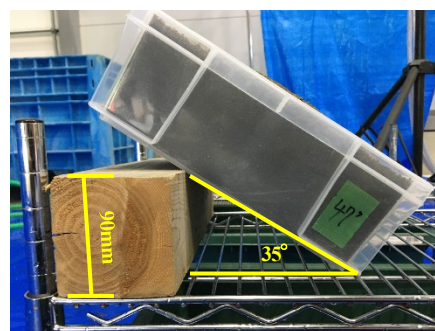


図18 コンテナ容器の設置状況

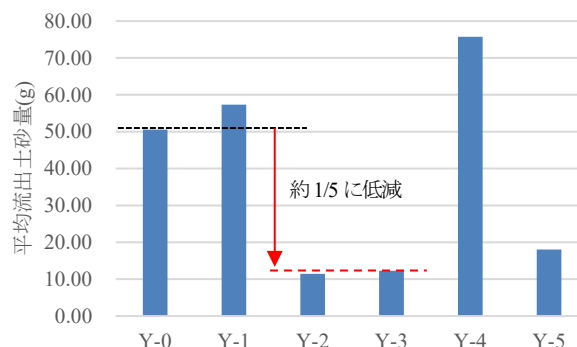


図19 各試験体を散布した供試土からの平均流出土砂量(追加試験)

## 7. まとめ

本報では PIC の粉塵飛散抑制効果と耐雨性能を評価する試験を行った。

この結果、土壌からの粉塵の飛散や降雨による土砂の流出の抑制には PIC を構成する高分子化合物の配合比率、濃度、散布量が大きく関係していることを把握することができた。

本試験を通して得られた知見を以下に示す。

- 1) PIC の配合比率は DADMAC : CMC=1 : 5, 1 : 7, 1 : 20, 1 : 40 であり、濃度 1.0%, 2L/m<sup>2</sup>以上の量を散布すると、未処理の土壌に対して粉塵飛散抑制効果は 90%を超えることが示された。
- 2) 今回試験した DADMAC : CMC, DADMAC : PAAcNa の PIC の組合せだと、DADMAC : CMC の組合せの方が粉塵飛散抑制効果としては高い傾向が示された。
- 3) 耐雨性能に関しては、DADMAC : CMC=1 : 7, 1 : 40 の配合比率の PIC の試験体を使用することで、未処理の土壌よりも土砂流出を約 1/5 に抑えることができることが示された。

以上の結果から本試験の結論として、下記 2 種の PIC の試験体が未処理の土壌と比較して 15m/s 送風時の粉塵飛散抑制効果 90%以上、80mm/h 降雨時の流出土砂量 1/5 の量という最も優位な結果が得られた。

- ・PIC-⑧ : DADMAC : CMC=1 : 7, 散布量 2L/m<sup>2</sup>, 濃度 1.0%
- ・PIC-⑬ : DADMAC : CMC=1 : 40, 散布量 2L/m<sup>2</sup>, 濃度 1.0%

## 8. おわりに

本報では、現場で使用できる PIC を利用した粉塵飛散抑制技術の開発のために、粉塵飛散抑制効果と耐雨性能の評価結果を報告した。粉塵の飛散対策として長年用いられてきた散水の粉塵飛散抑制効果は未処理に対して 30%程度と効果は限定的で、PIC を用いて土壌を固定化することで粉塵飛散を抑制する有用性が示唆された。また、粉塵飛散抑制効果で優位な結果が出た試験体は、耐雨性能でも高い効果があることが傾向として見られた。今後は、長期の屋外曝露性能、施工性、長期の性能維持等の確認を進めていきたい。

### 謝辞

本検討をするにあたり適宜ご助言をいただいた茨城大学地球・地域環境共創機構水圏環境フィールドステーションの熊沢紀之先生にこの場を借りて感謝申し上げます。

### 参考文献

- 1) 長縄弘親, 柳瀬信之, 永野哲志, 三田村久吉, 熊沢紀之, 佐藤努「放射性セシウム汚染土壌の除染方法」, 特開 2013-185941, 2013-9-19.
- 2) 鈴木和久, 佐藤一行「カチオン性高分子を利用した土壌浸食防止方法」, 特開 2014-51627, 2014-3-20.
- 3) 長縄弘親, 熊沢紀之, 齊藤浩, 柳瀬信之, 三田村久吉, 永野哲志, 鹿嶋薫, 福田達也, 吉田善行, 田中俊一「ポリイオンコンプレックスを固定化剤として用いる土壌表層の放射性セシウムの除去 福島県飯舘村における除染試験の速報」, 日本原子力学会和文論文誌, 2011.
- 4) 気象庁, 「風の強さと吹き方」, 気象庁, 2017-09, [https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/yougo\\_hp/kazehyo.html](https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/yougo_hp/kazehyo.html).
- 5) 国土交通省, 「第 9 回気候変動に適応した治水対策検討小委員会」, 資料 1-1, p5~8, 2009.
- 6) 気象庁, 「雨の強さと降り方」, 気象庁, 2017-09, [https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/yougo\\_hp/amehyo.html](https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/yougo_hp/amehyo.html).