

# 19. 土砂掘削で発生する粉じんの散水による抑制効果の構内試験

(国研) 土木研究所 ○ 山口 武志  
 (国研) 土木研究所 吉永 弘志  
 (現：国土交通省国土技術政策総合研究所)  
 (国研) 土木研究所 山口 崇

## 1. はじめに

自治体等によせられる大気環境（騒音，振動，排出ガス，粉じん等）の苦情件数は，事業者別では建設業がシェア 52% でワースト 1 位となっている<sup>1)</sup>。土砂掘削の粉じんについては，散水，防塵ネット等で抑制できるが，環境影響評価において定量的な予測ができないことが懸案となっている。

土木研究所では，散水等の粉じん対策の効果の定量的な評価を可能にすることで，定量的な環境影響評価や適切な環境保全措置の検討に資することを旨として，土砂掘削で発生する粉じんの散水による抑制効果について調査した<sup>2),3)</sup>。

本稿では既報<sup>2),3)</sup>の抜粋と構内試験の詳細を報告する。

## 2. 土砂掘削で発生する粉じんの散水による抑制量の調査

構内試験を実施する前に，予備調査として現地調査や文献調査を行った。

### 2.1 予備調査<sup>2),3)</sup>

道路事業の環境影響評価において，降下ばいじん量の予測には国土技術政策総合研究所資料<sup>4)</sup>が用いられている。具体的には，式(1)，式(2)を基本式とし，発生源の形状，および風向頻度・風速から降下ばいじん量を予測している。式(1)，式(2)では微小領域から発生した粉じんが風下方向に逆二乗則で拡散する値を発生源の面積，工事日数等で積算している。

$$R_{ds} = N_u N_d \int_{\frac{\pi}{16}}^{\frac{15\pi}{16}} \int_{x_1}^{x_2} C_d(x) x dx d\theta / A \quad \dots \text{式(1)}$$

$$C_d(x) = a(u_s/u_0)^{-b} (x/x_0)^{-c} \quad \dots \text{式(2)}$$

$R_{ds}$ : 風向別降下ばいじん量 (t/km<sup>2</sup>/月) . 添え字 s は風向 (16 方位),  $N_u$ : ユニット<sup>\*1</sup>数,  $N_d$ : 季節別の平均月間工事日数 (日/月),  $x_1$ : 予測地点から季節別の施工範囲の手前側の敷地境界線までの距離 (m),  $x_2$ : 予測地点から季節別の施工範囲の奥側の敷地境界線までの距離 (m) ( $x_1, x_2 < 1m$  の場合は  $x_1, x_2 = 1m$  とする.) ,  $A$ : 季節別の施工範囲の面積 (m<sup>2</sup>) ,  $C_d(x)$ : 1 ユニットから発生し拡散する粉じん等のうち発生源からの距離  $x$  m の地上

1.5m に堆積する 1 日当たりの降下ばいじん量 (t/km<sup>2</sup>/日/ユニット) ,  $a$ : 基準降下ばいじん量 (t/km<sup>2</sup>/日/ユニット) ,  $u$ : 平均風速 (m/s) ,  $u_s$ : 季節別風向別平均風速 (m/s) ( $u_s < 1m/s$  の場合は  $u_s = 1m/s$  とする.) ,  $u_0$ : 基準風速 ( $u_0 = 1m/s$ ) ,  $b$ : 風速の影響を表す係数 ( $b = 1$ ) ,  $x$ : 風向に沿った風下距離 (m) ,  $x_0$ : 基準距離 (m) ( $x_0 = 1m$ ) ,  $c$ : 降下ばいじんの拡散を表す係数 ( $c = 2$ ) .  
 \*1: ユニットとは，工事の種類等での作業単位を考慮した建設機械の組み合わせ

国土技術政策総合研究所資料<sup>4)</sup>には，硬岩掘削において，散水を講じることで粉じんの発生量が約 27% (約 73%減) となる例が記載されている(表-1)。

表-1 基準降下ばいじん量  $a$  及び降下ばいじんの拡散を表す係数  $c$

ユニット	$a$	$c$	備考
土砂掘削	17,000	2.0	文献 <sup>4)</sup>
硬岩掘削	110,000	2.0	文献 <sup>4)</sup>
硬岩掘削 (散水)	30,000	2.0	文献 <sup>4)</sup>

予備調査では，現地調査として複数の現場を調査した。土木工事とは異なり，常時粉じん対策を講じている採石場での現地調査では，土砂はシルト分が 27%程度と多い細粒分質砂であった。粉じん発生量は多く，散水車で絶え間なく散水していた(図-1)。また，構内の道路工事の現場においてヒアリングを行ったところ，工事用に搬入した土砂による粉じんの発生は，細粒分質砂(シルト分が 30%程度)で多く，細粒分まじり砂(シルト分が 10%程



図-1 砕石場での散水による粉じん対策

度)の改質土では少ないとのことであった。パイパスの道路工事において、粉じん測定を実施したが、細粒分まじり砂(シルト分が4~7%程度)の土砂掘削(無散水)では、測定した3日間とも粉じんの舞い上がり等はみうけられず、バットで捕捉した降下ばいじんの質量は分析天秤の測定誤差程度のごく微量(10mg以下)であった。

また、web site、過年度の調査、および有識者の講演で得た知見も踏まえて、粒径分布と飛砂・粉じん等の関係を俯瞰した(図-2)。粒径が大きいと固結せず乾燥しやすいが飛びにくく、火山噴火や強風時に飛来する。砂丘では200~500 $\mu\text{m}$ で粒がそろっているとよく飛ぶとの知見があり、地形・風等の条件も影響するようである。粒径が小さいと国境を超えて遠方まで飛来するが、粘土は乾燥しにくく固結しやすい。土木工事の粉じんは、シルト分と関連づけた論文が多かった(例文献<sup>5),6)</sup>。

降下ばいじん量の予測について、国内外の他の文献も調査したが、環境影響評価の予測に参考となる文献は見当たらなかった。

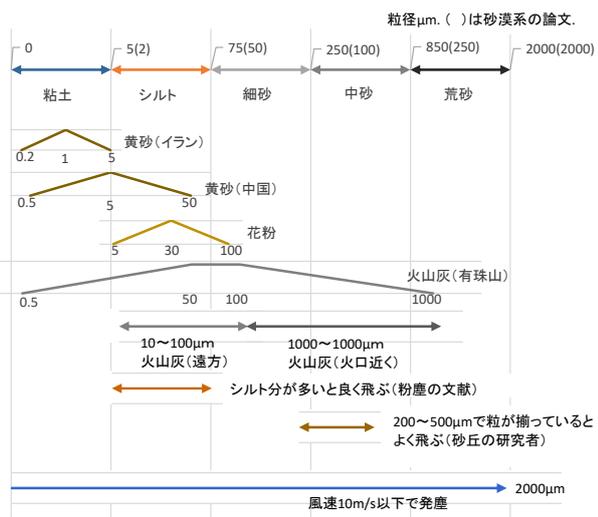


図-2 土砂の粒径分布と飛砂・粉じん等

## 2.2 構内試験

降下ばいじんの測定値はばらつきが多いため、散水による抑制効果については複数の測定の平均的な値で示すこととし、測定回数を増やすことを容易にするため、測定の簡素化を検討した。測定の簡素化は、測定地点を減じる検討および風向風速の測定高さを1.5mとする検討を行った。

現場での測定については、適する実工事現場において適する日に出向くこと、施工に影響しない位置かつ風下で測定すること、散水を行うことの全ての条件を満たす現場を選定することが困難であることを予備調査で把握したため、研究所の構内で測定することとした。

### 2.2.1 測定地点を減じる検討<sup>3)</sup>

文献<sup>7),8)</sup>の測定では、降下ばいじんの拡散を表す係数 $c$ を把握することを目的として測定点を多数設置していたが、文献<sup>8)</sup>では複数の工種を解析して考察した結果に基づいて $c=2$ に統一した。 $c=2$ は逆二乗則を意味し、結果的に点発生源の騒音・振動と同程度の減衰となる。ここでは $c=2$ として測定点数を減じて解析した $a$ の影響を考察した。文献<sup>7)</sup>の中から粉じん発生量が多い土砂掘削1回、軟岩掘削2回、路床安定処理3回、および現場内運搬2回の合計8回の測定値を選択し、測定地点を減じた場合の誤差を評価した。評価量は、全測定点で解析した場合の解析した $a$ を真値 $T$ と見なし、発生源に近い測定点のみで解析した場合の解析値 $a$ を $P$ とし誤差率 $e = [P - T]/T \cdot 100$ とした(表-2)。誤差率 $e$ の平均、標準偏差ともに10%程度であった。降下ばいじんの測定値は桁違いにばらついており、測定点を3点以下に減じることによる10%程度の誤差率は、相対的には精度に支障はない値と考えた。

表-2 粉じんの原単位を解析する際に使用するデータ数を減らした場合の誤差率

	平均	標準偏差
発生源に最も近い1点	10%	12%
発生源近傍の3点	16%	10%

### 2.2.2 風向風速の測定を高さ1.5mとする検討

気象庁の風向風速の測定方法に準じて文献<sup>7),8)</sup>の原単位も高さ10mの風向風速の測定値で解析している。一方、実測定において高さ10mでの風向風速の測定が制約になりうる場合もあるため、異なる高さに変更する検討が行われたことがある<sup>9)</sup>。高さ10mと1.5mの風速比が1.4になるとの解析結果や風向の一致の程度にかかる知見が得られていたが、解析値 $a$ の評価は未着手であった。ここでは解析値 $a$ について試行的に土砂掘削1回、軟岩掘削1回、路床安定処理4回、および現場内運搬4回の合計10回の測定値を選択し、高さ10mの風向風速での解析値 $a_{10m}$ と高さ1.5mの風向風速での解析値 $a_{1.5m}$ を比較した。近似誤差(残差平方和)の平均は表-3に示すように大きく異なることはなく、増加は $(0.51 - 0.44)/0.44 = 16\%$ であった。 $a_{10m}$ と $a_{1.5m}$ の比の平均が1.2となったので $a_{10m} = 1.2a_{1.5m}$ で換算することとした。

表-3 粉じんの原単位を解析する際に使用する風向風速の測定高さと近似誤差

風向風速の測定高さ	10m	1.5m
10回の測定の近似誤差*2の平均	0.44	0.51
	$\text{t}/\text{km}^2/8\text{h}$	$\text{t}/\text{km}^2/8\text{h}$

\*2: 解析したパラメータでの計算値と測定値の残差平方和

### 2.2.3 測定

構内試験における測定の概要を表-4、図-3～7に示す。国土技術政策総合研究所の構内に50m×50mの作業エリアを設定し(図-3)、13.5tの油圧ショベルを使用して山積みの搬入土を掘削し、90度回転して放土する模擬作業(図-4)を連続して行った。試験は晴天が続いた乾燥した冬場に周囲が開けた場所で行ったので、測定条件は良好であったと考えている。模擬作業は3種類(粘性土1、粘性土2、碎石C40)の土砂の無散水、および散水の2条件で行った。降下ばいじんの測定点数は、風下側での4点とバックグラウンドの1点の合計5点とし、簡素化した。また、風向風速の測定は高さ1.5mでのみ行い、高さ10mでの測定は省略した(図-5、6)。主な測定機器は微風風向風速計(気象検定付)、デジタル粉じん計、降下ばいじん測定用バット(幅220mm×長さ280mm×高さ40mm)とした。降下ばいじん測定用バットには蒸留水をはり、測定終了時に回収して蒸留水を揮発させることで、降下ばいじんの質量を測定した。構内試験における土砂、模擬作業の状況を図-7に示す。

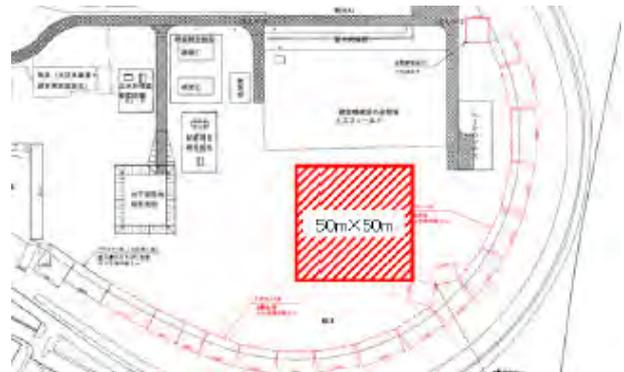


図-3 測定箇所(50m×50mのエリア)

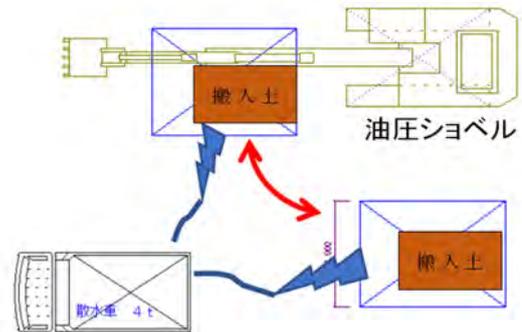


図-4 模擬作業の概略図

表-4 構内試験での測定概要	
日時と場所	2022年1月31日~2月5日の9:00~16:00. 国土技術政策総合研究所構内(茨城県つくば市)
気象条件	全日晴れ。気温2~12℃、風速1~8m、湿度20~60%(つくば市館野気象庁公表値)
主な測定機器	微風風向風速計(気象検定付)1台、デジタル粉じん計3台、降下ばいじん測定用バット(幅220mm×長さ280mm×高さ40mm)5個
土砂	3種類(粘性土1、粘性土2、碎石C40)の土砂の無散水、および散水の2条件。
施工機械	油圧ショベル(0.5m <sup>3</sup> 、13.5t)
模擬作業	山積みの搬入土を油圧ショベルで掘削し、90度回転し放土の繰り返し作業。作業時間は各2時間。散水は、作業前に実施。

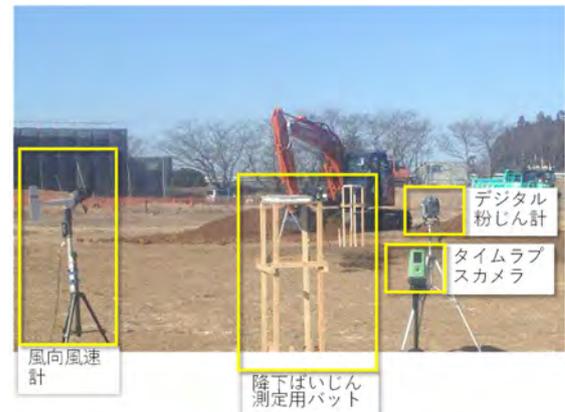


図-5 測定状況

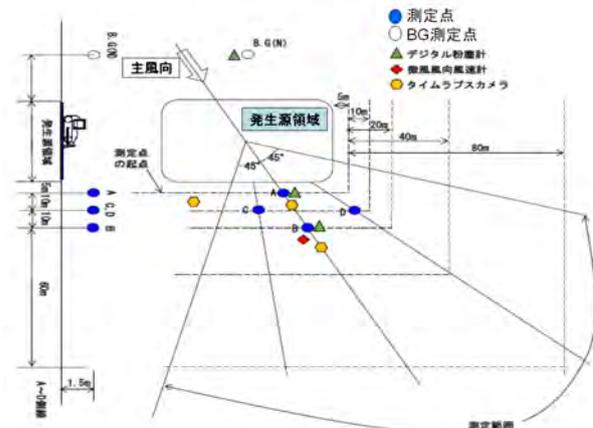


図-6 測定点の配置(模式図)



図-7 測定対象とした土砂と測定状況

ここで、この実験について考察したことを図-7で述べる。無散水の粘性土1, 粘性土2では油圧ショベルのバケットから落下する土砂から粉じんが舞っていることが写真で把握できる。一方、散水の粘性土1, 粘性土2では浮遊粉じんが抑えられ、碎石C40では、散水、無散水ともに写真で確認でき

る程度の粉じんが発生していない。油圧ショベルのバケット近傍で粉じん計やカメラで粉じんを観測してミスト散布すれば少ない水の量で効果的に粉じんが抑制できると推測される。また、粘土・シルト分の多い粘性土2では無散水でも含水比が高く(例では52%), 粘土・シルト分が少ない碎石C40

では散水していても含水比が低い(例では 5.2%)。このことは、粉じん発生量を定量評価したり、粉じんを抑制するための散水量を管理するための指標としては含水比に加え、土質も考慮する必要があることがあらためて確認できた。

### 2.2.4 解析結果

基準降下ばいじん量  $a$  を解析した結果を図-8 に示す。想定に反して散水で含水比を上げたにもかかわらず、発生量が増える場合があった。散水した粘性土で増えた原因として、無散水より散水の測定時の方が強風であったため、あるいは空気の乾燥と強風により構内試験での模擬工事のエリア外で、粉じんが発生していたことが考えられる。また砕石 C40 では図-7 に示すようにシルト分が少なく粉じんがわずかししか発生しなかったため、測定のパラツキの影響の方が散水の有無による影響より

大きかったと考えられる。よって、バックグラウンドの測定値が  $4.1 \text{ t/km}^2/8\text{h}$  となり、他の日(最大  $0.9 \text{ t/km}^2/8\text{h}$ , 平均  $0.5 \text{ t/km}^2/8\text{h}$ ) を超えて特に大きかった 1 月 31 日の測定値は除外することにした。基準降下ばいじん量  $a$  について、無散水での 5 回の測定、および散水での 5 回の測定で平均した値を、国土技術政策総合研究所資料<sup>4)</sup>に記載されている「硬岩掘削」と「コンクリート構造物取壊し」の無散水・散水の値、および過年度に調査した現場測定値の解析値<sup>2)</sup>と併記して図-9 に示す。平均値では散水により降下ばいじん量が 1/10 程度に抑制されるとの結果となり、他の測定の間程度程度の抑制効果となった。今回の散水の条件での測定では模擬作業中に散水しなかったが、粉じんが懸案となる場合には施工中に追加で散水できるため 1/10 以下に抑制できると考えられる。

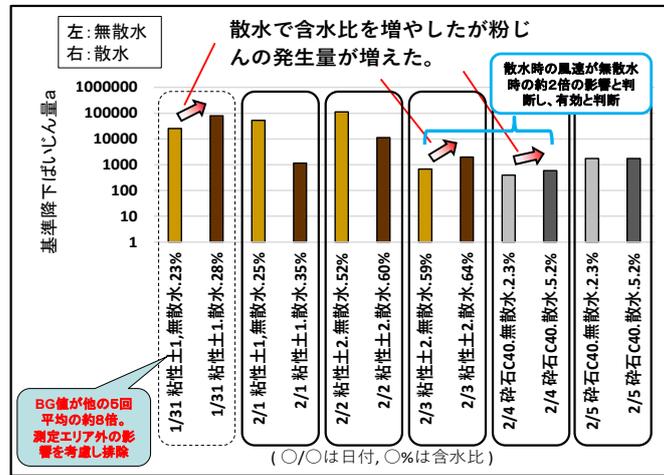
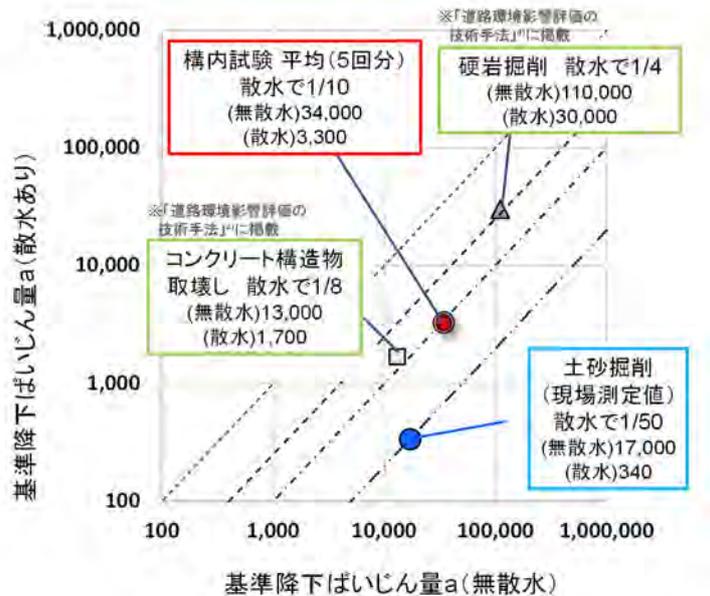


図-8 構内試験での測定値から求めた土砂掘削での散水・無散水の基準降下ばいじん量  $a$



(注) 構内試験値は実工事の換算をしていない。「硬岩掘削」と「コンクリート構造物取壊し」は文献<sup>4)</sup>から、「土砂掘削(現場測定値)」は文献<sup>2)</sup>から

図-9 構内試験での測定値(平均)と他の測定値

なお、一般的な土砂掘削では建設機械は移動や待機をするが、ここでの構内試験は図-5、図-6、および図-7に示すように固定した位置で掘削作業を連続させる条件としたため、粉じんの発生量の係数  $a$  が表-1 より大きめの値となっていた。構内試験値を実工事に換算するためには建設機械の移動や待機を考慮する必要がある。

また、測定ではデジタル粉じん計でも参考までに計測したが、計測値と降下ばいじん量との相関については、更なる検討が必要であると考えている。

### 3. まとめ

土砂掘削で発生する粉じんの散水による抑制効果を明らかにすることを目的とし、文献、ヒヤリング等で予備調査を行ってから構内試験を行った。本調査で明らかになったことをまとめると以下となる。

- ・粉じんは土砂のシルト分（粒径 5～75  $\mu\text{m}$ ）が多いと多く発生することを文献、現場のヒヤリング、各種の現場測定、および構内試験で確認した。
- ・土砂掘削に由来する降下ばいじんが散水で抑制される割合は、構内試験で 1/10 となった。この割合は硬岩掘削の 1/4、コンクリート構造物取壊しの 1/8 より抑制効果があると解することができる値であった。

本調査では散水による粉じんの抑制効果に関するおおむねの傾向を構内試験で把握した。しかし、予測手法の確立には、より多くの測定を行い、粉じん発生の変因を解明することが必要であると考えている。

### 参考文献

- 1) 令和3年度「公害苦情調査」：総務省公害等調整委員会
- 2) 須山友貴，山内元貴，吉永弘志，大城温：土砂掘削の粉じんを散水で抑制する効果を予測する手法01，第48回土木学会関東支部技術研究発表会，VII-13，2021。
- 3) 山口武志・山口崇：土砂掘削で発生する粉じんの散水による抑制量の調査，土木技術資料，第65巻・第10号，pp.8～11，2023
- 4) 道路環境影響評価の技術手法（平成24年度版），国土技術政策総合研究所資料第714号，2013。
- 5) Lee CH, Tang LW, Chang, CT: Modeling of Fugitive Dust Emission for Construction Sand and Gravel Processing Plant, Environ. Sci. Technol. Vol.35, pp.2073-2077, 2001.
- 6) 栗原正美，上野孝之，西林清茂：土工事における濁水・粉塵発生防止法の研究開発，大林組技術研究所報，No.55，pp.59～62，1997。
- 7) 建設工事騒音・振動・大気質の予測に関する研究（第1報），土木研究所資料第3681号，2000。
- 8) 建設工事騒音・振動・大気質の予測に関する研究（第3

報），土木研究所資料第4010号，2006。

- 9) 工事の実施による大気環境に係わる環境影響評価に関する研究，  
<https://www.mlit.go.jp/chosahokoku/h15giken/pdf/0407.pdf>