

土砂掘削で発生する粉じんの散水による抑制量の調査

山口武志・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¹⁾。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。

本調査では、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目指して、土砂掘削で発生する粉じんの散水による抑制量の調査を行った。

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

2.1 予備調査

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²⁾が用いられている。その予測手法は、土木研究所資料^{3),4)}が拠所となっている。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 $x dx d\theta$ から発生した粉

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

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

R_{ds} : 風向別降下ばいじん量 (t/km²/月) . 添え字sは風向 (16方位), N_u : ユニット¹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 (m²), $C_d(x)$: 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 xm の地上1.5mに堆積する1日当たりの降下ばいじん量 (t/km²/日/ユニット), a : 基準降下ばいじん量 (t/km²/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

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。

国土技術政策総合研究所資料においては、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) となる事例も記載されている。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。

ここで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-1)。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 μm 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^{5),6)}。

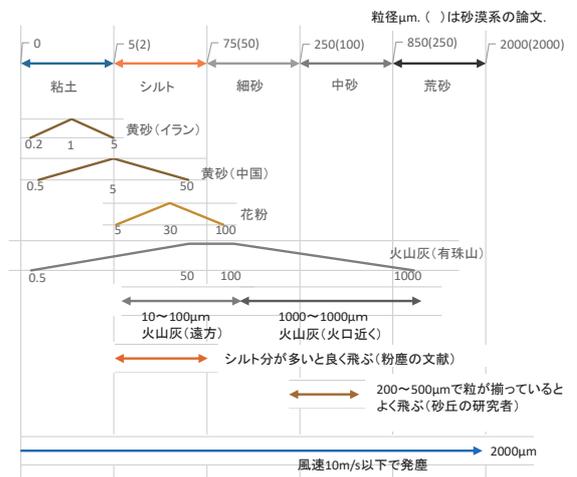


図-1 土砂の粒径分布と飛砂・粉じん等

2.2 現場測定値の解析⁷⁾

構内試験を行う前に、過年度に調査した測定結果のうち、散水はしていないが水門本体工事の土砂掘削で掘削地点の土砂が湿っていた現場①、および流路護岸工事で散水を講じた土砂掘削の現場②での測定値から原単位である基準降下ばいじん量 a を解析した。測定状況を図-2、図-3および結果を表-1に示す。基準降下ばいじん量 a (t/km²/

日/ユニット) (基準風速時の基準距離における1ユニットからの1日当たりの降下ばいじん量) ⁴⁾は無散水の場合の1/50 (1~3%) 程度に抑制されていた。aの解析方法としては、測定値と計算値の残差平方和が最小となるaを逆算した。含水比13%は土木工事の土砂では比較的小さい値である。同一の土砂では散水により含水比が増えると、発生する粉じんは抑制されると考えられる。

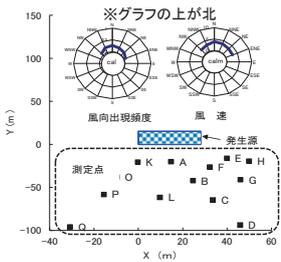


図-2 土砂掘削(現場①)の降下ばいじん測定

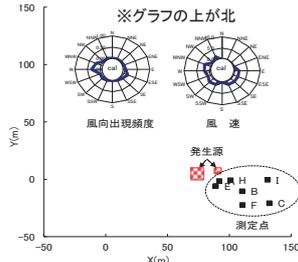


図-3 散水した土砂掘削(現場②)の降下ばいじん測定

表-1 基準降下ばいじん量a (t/km²/日) *2

	a	備考
土砂掘削(無散水)	17,000	文献 ⁴⁾
土砂掘削(現場①)	540 (無散水の約3%)	水門本体内における床掘りでの土砂掘削。散水はしていないが土砂は湿っていた。
散水した土砂掘削(現場②)	140 (無散水の約1%)	バックホウ2台を使用した流路護岸工事での土砂掘削(含水比13%)

*2: 降下ばいじんの拡散を表す係数c=2.0とした。

2.3 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多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、散水を行うことなど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。

2.3.1 測定地点を減じる検討

文献^{3),4)}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⁴⁾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³⁾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%

2.3.2 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^{3),4)}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⁸⁾。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 $a_{10m} = 1.2 a_{1.5m}$ 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して近似誤差

風向風速の測定高さ	10m	1.5m
10回の測定の近似誤差	0.44	0.51
*3の平均	トン/km ² /8h	トン/km ² /8h

*3: 解析したパラメータでの計算値と測定値の残差平方和

なお、式(2)は降下ばいじんの風速に反比例する式となっており、上記は高さ10mでの風速の平均が高さ1.5mでの風速の1.2倍、風速のべき乗則でのべき指数を $n=1/10$ とした場合に相当する。

2.3.3 測定

構内試験における模擬掘削での測定の概要を表-4、図-4、図-5および図-6に示す。

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、図-2、図-3の測定のそれぞれ約1/4、1/2に簡素化した。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。

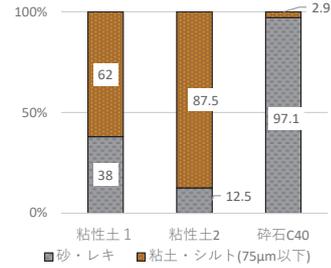


図-6 土砂の粒径分布

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5個
土砂	3種類(粘性土1、粘性土2、砕石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 ³ , 13.5t)
模擬作業	山積みの搬入土をバックホウで掘削し、90度旋回し放土の繰返し作業。作業時間は各2時間。散水は、作業前に実施。

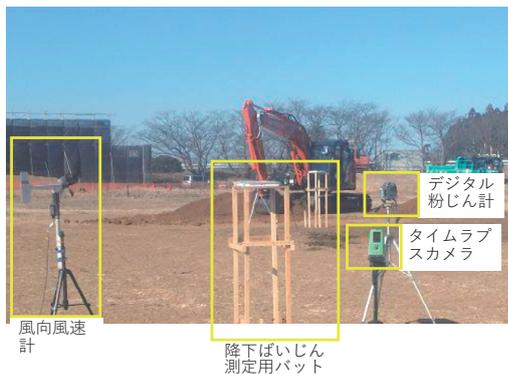


図-4 測定状況

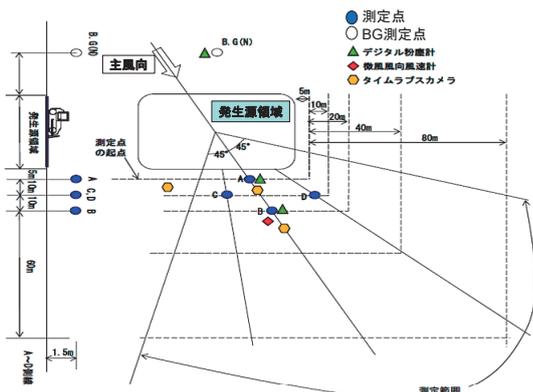


図-5 測定点の配置(模式図)

2.3.4 解析結果

現場測定値を解析した2.2と同様に、基準降下ばいじん量aを解析した結果を図-7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-6に示すようにシルト分が少なく粉じんがわずかしか発生しなかったため、測定バ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。バックグラウンドの測定値が4.1t/km²/8hとなり、他の日(最大0.9t/km²/8h、平均0.5t/km²/8h)を超えて特に大きかった1月31日の測定値を除外し、無散水の5回の測定、散水の5回の測定を平均した結果を他の測定値と比較したものを図-8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散水できるので1/10以下に抑制できると考えられる。

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。

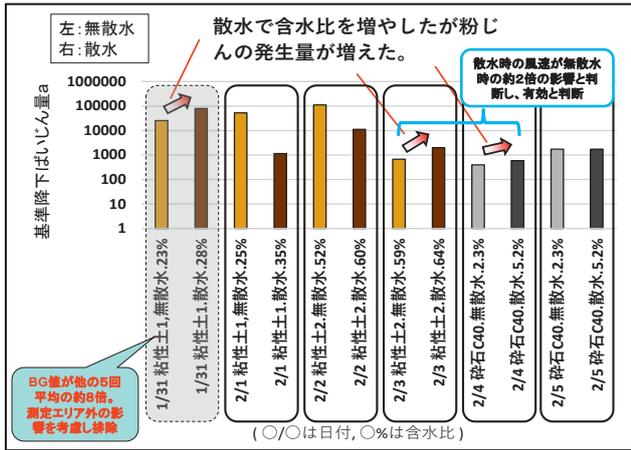
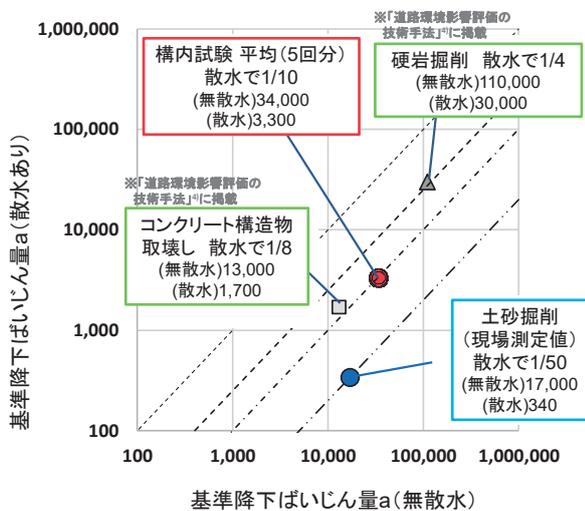


図-7 構内試験での測定値



(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²⁾から、「土砂掘削 (現場測定値)」は表-1の2現場の平均)

図-8 構内試験での測定値(平均)と他の測定値

3. まとめ

本調査では、土砂掘削において散水対策を講じることによる基準降下ばいじん量の抑制される割合が、他の工種（「硬岩掘削」及び「コンクリート構造物取壊し」）と同程度以上に抑制されることを現場測定値および構内試験の双方で確認した。以下、本調査で明らかになったことを列記する。

- ・粉じんは土砂のシルト分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の散水での抑制は、現場測定値で1/50、構内試験で1/10となった。これらは硬岩掘削の1/4、コンクリート構造物取壊しの1/8より抑制効果があった。

本調査において、土砂掘削における散水の効果の概略値を示すことができたが、予測手法の確立には、より多くの測定や粉じん発生の要因解明が必要と考えている。

謝辞

本調査を進めるにあたって、ご助言を頂いた国土技術政策総合研究所の吉永弘志氏並びに関係各位に心から感謝申し上げます。

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) 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.
- 3) 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.
- 4) 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.
- 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) 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.
- 8) 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/chosahoko/ku/h15giken/pdf/0407.pdf>

山口武志



土木研究所 技術推進本部
先端技術チーム 主任研究員
YAMAGUCHI Takeshi

山口 崇



土木研究所 技術推進本部
先端技術チーム 上席研究員
YAMAGUCHI Takashi