

掘削中山岳トンネルの切羽近傍における発塵粒子の挙動

金沢大学工学部 正会員 ○古内正美 金沢大学大学院 正会員 金岡千嘉男
金沢大学工学部 因幡淳一

1. はじめに

山岳トンネル中には多量の粉じんが切羽付近に発生する。掘削時の発じん源としては、発破、重機による掘削、ずり積み下ろし及び運搬作業、NATM工法のコンクリート吹付け作業などがある。坑内粉じん濃度の低減策として、トンネル外から新鮮な空気を切羽付近に送って換気する方法が広く採用され、一定の効果を上げている。

しかし、最も粉じん濃度の高い切羽近傍では、粉じん発生量、換気方式、換気量、風管位置、切羽近傍にある重機の影響、掘削工法による切羽形状の差などの多くの要因が複雑に影響する。さらに、ディーゼル排煙粒子のようなナノサイズの極微小粒子を含むものから NATM 時の噴霧コンクリート中に含まれる 100 μm 超のものまで、種々の粒径の粒子が発生するが、粒子運動は粒径や密度など、粒子物性によって大きく異なる¹⁾。また、トンネル壁面での粒子の付着・再飛散特性は、切羽付近の滞留粒子量に大きく影響すると考えられる。しかし、これらの要因に関する検討は少なく^{2,3)}、個々の粒子の挙動に関する検討はほとんど加えられていない。

本研究では、山岳トンネル掘削作業中の切羽近傍の粉塵濃度と発生する粒子の運動の関係に着目し、換気を行う時の、粉塵粒径、換気方式、換気量、壁面での粒子沈着特性が換気で排出される粉塵量に及ぼす影響を、トンネル内気流と粒子運動軌跡の数値解析を行って検討した。

2 計算モデル

掘削中の高速道路用片側2車線のトンネル(全断面掘削、断面積 70m²)を参考にして、図-1 に示すような横坑のない1本トンネルとして計算モデルを作成した。対象とした換気方法は、送気式と送排気式の2方式とした。ここでは、図-2 に示すように、各方式について1および3種類の風管取り付け位置を設定して、その影響も検討した。また、実トンネル

の値を参考にして、切羽から送風、排気口までの距離をそれぞれ50mと100m、風管直径を1.7mとした。

気流解析は汎用流体解析ソフト FLUENT ver.5.2 を用いて行い、標準 *k-ε* 乱流モデルから得られる基礎方程式を解析した。また、切羽面から球状粒子を瞬間的に発生させた時の運動軌跡を式(1)-(2)の運動方程式に基づいて計算した。

$$\frac{du_p}{dt} = F_D(u - u_p) + g_x(\rho_p - \rho) / \rho_p \tag{1}$$

$$F_D = \frac{18\mu C_c}{\rho_p x^2} \cdot \frac{C_D Re}{24} \tag{2}$$

ここで、 $F_D(u - u_p)$:単位質量の粒子に作用する流体抗力、 u :流体速度、 u_p :粒子速度、 μ :粘性係数、 ρ :流体密度、 ρ_p :粒子密度、 x :粒子直径、 C_c :Cunningham補正係数、 Re :レイノルズ数である。また粒子運動を考慮した時の粒子排出状態を定量的に評価するため、

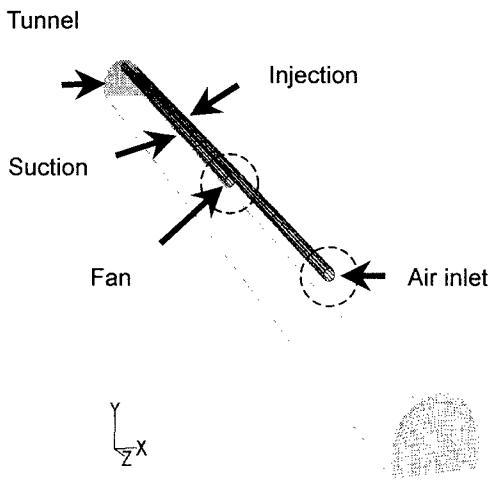


図-1 計算モデル

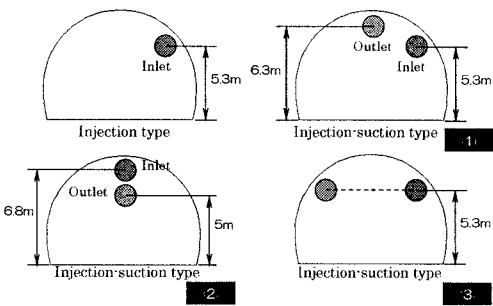


図-2 風管配置

切羽面上の全分割要素から粒子を発生させ（粒子密度 2500kg/m^3 ，総粒子個数 425 個），得られた運動軌跡から排気口からの排出割合を求めた．トンネル壁面の境界条件として，切羽面を完全反射壁とした上で，1) トンネル壁全面沈着の場合と，2) トンネル床面沈着の場合を検討した．ただし再飛散は無視した．

3 解析結果と考察

粒子運動軌跡の計算結果を図-3 に示す（送排気式①，送気流量 $1700\text{m}^3/\text{min}$ ，排気流量 $2200\text{m}^3/\text{min}$ ）．重力沈降，慣性の影響が大きい $100\mu\text{m}$ の粒子は切羽面近傍に直ちに沈着するが， $10\mu\text{m}$ 以下の粒子は気流に同伴され，送気口付近で反転後に坑口あるいは排気口に向かう．しかし，一部は切羽方向へ巻き込む気流の影響を受け，切羽と送気口の間で滞留する．

切羽面から発生した粒子の総数と坑口または排気口から排出された粒子数の比と粒子径の関係を，全壁面沈着条件について図-4，床面沈着条件について図-5 にそれぞれ示す．沈着条件，換気方式，風管配置によらず， $10\mu\text{m}$ を超える粒子は風管あるいは坑口からはほとんど排出されない．全壁面沈着条件の場合，送排気式②および③では大部分の粒子が排出

されずに沈着する．また，送気式では発生粒子中 20%，送排気式①で 10% の粒子が排出され，残りは沈着あるいは坑内に滞留する．床面沈着条件の送排気式③では 80% の粒子が排出されることから，80% の粒子が側壁に沈着し，送排気式②では床面に大部分の粒子が沈着する．切羽付近の粒子滞留量には，壁面の粒子沈着特性が大きく影響すると推察される．

4 おわりに

- 以上得られた結果は次の様にまとめられる．
- 1) $10\mu\text{m}$ 超の大径粒子は切羽直下に沈着する．
 - 2) 排気口から除去される粉じんの割合は粒径と換気方式によって異なる．
 - 3) 壁面の沈着特性が排気口，坑口からの粒子排出割合に大きく影響する．

参考文献

- 1) Willke, K. and Baron, P.A., "Aerosol Measurement Technology", Wiley, pp.596, 1993
- 2) Kanaoka C., K.O.Lee, K. Ohmata, M. Furuuchi and T. Myojo, Proc. 1st Asia Aerosol Conf., Nagoya, 201, 1999
- 3) Kanaoka, C., Furuuchi, M., Inaba, J. and T. Myojo, Proc. Int. Aerosol Conf., Dublin, 201, 1999

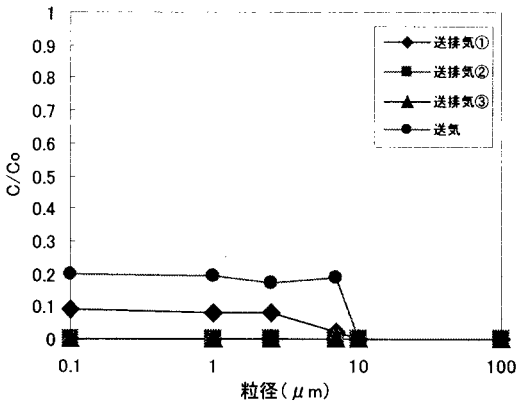


図-4 発生粒子と排出粒子の比率（全壁面沈着）

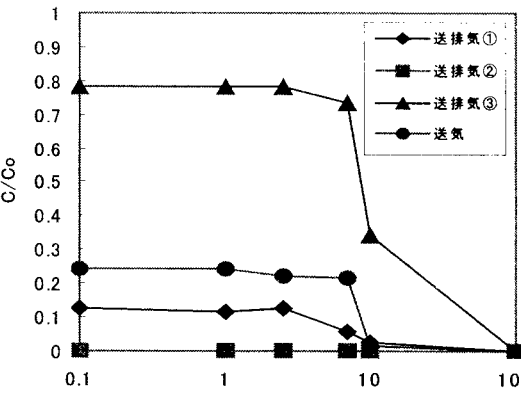


図-5 発生粒子と排出粒子の比率（床面沈着）

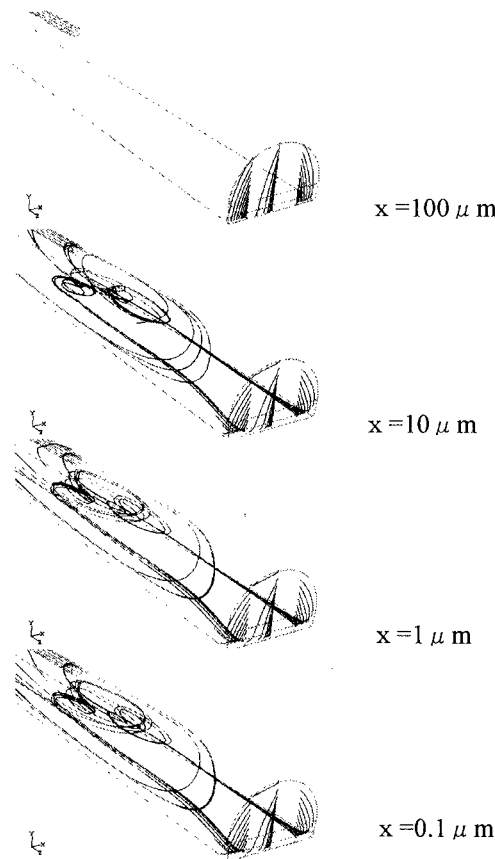


図-3 粒子運動軌跡