

VI-25 トンネル坑内の吹付けコンクリートの粉じん特性について

西松建設株式会社 正会員 稲葉 力
同 上 新藤 敏郎

山岳トンネルにおいて幅広く採用されているナトムでは、吹付け作業時の発生粉じんが問題とされる。粉じん則等によりトンネル坑内の粉じんを測定する義務は課されているが、許容濃度の規定はなく、施工業者が自主的管理基準を定めて運用しているのが現状である。一方、業界団体等で測定基準を作成するための委員会が始められたり、建設省が今年度の建設技術評価制度のテーマの1つに吹付けコンクリートの粉じん抑制を取り上げるなど、粉じんに関する関心が高まっている。本報告は、筆者らが昭和59年5月以来測定してきたトンネル坑内の粉じん測定のデータをまとめ、許容濃度等の問題点について述べるものである。

1. 粉じんの粒径等について

トンネル坑内の浮遊粉じんは、主としてずり出し作業時と吹付け作業時に発生する。自由断面掘削機による掘削の場合には地山によっては掘削時の発生粉じんが問題となる。

ずり出し作業時の粉じんは内燃機関の排ガスが大部分であり図1に示すように吹付け作業時に比べて粉じんの粒径が小さくほとんどが吸入性粉じん（粒径 $7.07\mu m$ 以下）である。濃度は坑内大気の滞留がない限り $2mg/m^3$ 以下に収まると考えられるが、送気式の場合トンネル全長にわたり濃度が上がる。図1はアンダーセンサンプラーで測定したものである。

吹付け作業時の粉じんは、成分の50～60%がセメントであり骨材が20～40%を占めている。図1に示すように吹付けノズルに近い程、捕捉粉じんの粒径は大きくなる。ノズルから10m程度離れて捕集した場合、平均粒径は $7\mu m$ 程度と考えられ、吸入性粉じんは総粉じん中の約50%である。通常、粉じん濃度は換気を行っている場合で $10\sim 30mg/m^3$ 程度と考えられる。

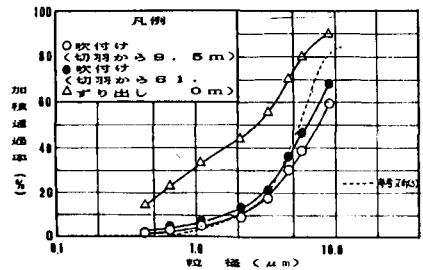


図1. 粉遊粉塵の粒径分布

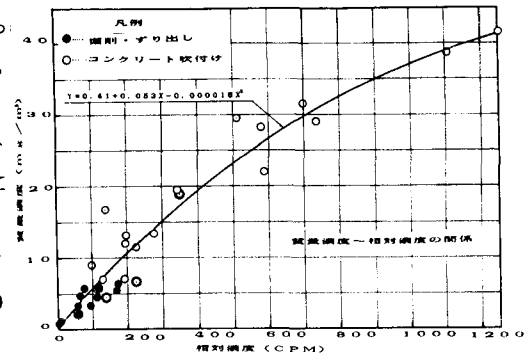


図2. 質量濃度～相対濃度の関係

2. 換算係数および濃度の時間変化

K値（質量濃度換算係数）は、吹付けノズルから5～15mの位置で参考文献2）の方法で測定した。吸入性粉じんはカノマックスのモデル9003で、 $10\mu m$ 以下の粉じんは同モデル5700で捕集し、相対式粉じん計は全て同社製のモデル3411を用いた。風速計も同モデル6151である。

図2に相対濃度cpm(count per minutes)と質量濃度の関係を示す。測定開始当初、粒径 $10\mu m$ 以下を対象としていたので、ほとんどが $10\mu m$ 以下の粒子についてのデータである。(◎, ●)印は、 $7.07\mu m$ 以下の粒子についてのデータである。吹付け作業に関しては、K値は0.03～0.05と考えられる。ずり出し作業の場合は測定値が小さいので、K値の変動が大きくなる。図1からも明らかなように、粒径 $7.07\mu m$ 以下についてのK値は、 $10\mu m$ 以下についてのものよりも小さくになると考えられる。データ数は少ないものの、図2からもその傾向が読み取れる。図2の実線は $10\mu m$ 以下の粒径について非線形回帰を求めたものである。

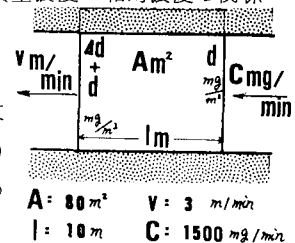


図4. モデル図

次に図3のモデルで粉じん濃度の時間変動を考える。粉じんの発生量 C (mg/min)、坑内風速 v (m/min)、トンネル断面積 A (m^2)、対象区間 l (m)、対象区間切羽側の粉じん濃度を d (mg/m^3)とすれば、単位時間 Δt (分)における増加粉じん濃度 Δd は、近似的に次の式で求まる。断面内で粉じん粒子は一様に分布しているものとする。

$$\Delta d = \frac{C - A v (d + \Delta d)}{A l} \Delta t$$

図4に某トンネルでの実測結果と上式による吹付け時の計算結果を示す。実測データは切羽から15 mの位置でデジタル粉じん計で測定したもので、隣接データ2個の移動平均をとった。

同図によると、吹付け開始から10分以上経過すると、坑内の粉じんはほぼ一様な状態になっていると考えられる。粉じんの発生量 $C = 1500 mg/min$ とした。また、 K 値は0.031だった。

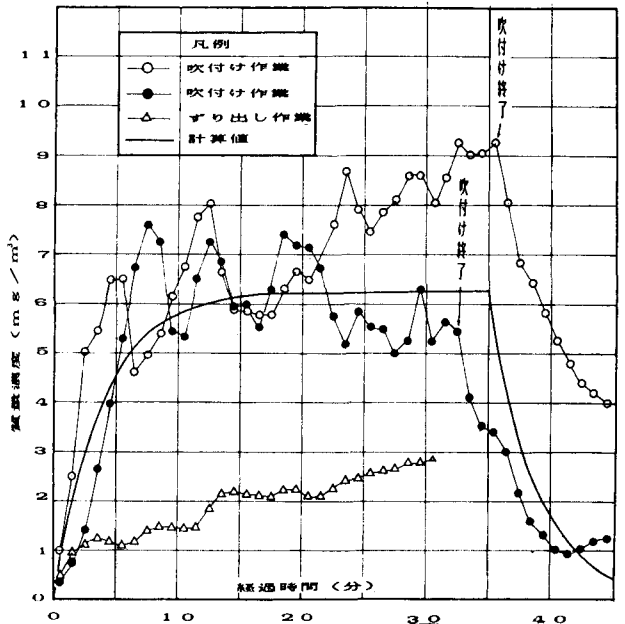


図4. 粉塵濃度～経過時間の関係

3. 許容濃度についての考察

日本産業衛生学会の勧告値からトンネル内の粉じんに関係する部分を表1に掲げる。¹⁾参考文献1)の利用上の注意には、許容濃度について「1日8時間、週40時間程度の労働時間中に、肉体的に激しくない労働に従事する場合の曝露濃度の算術平均値がこの数値以下であれば、ほとんど全ての労働者に健康上の悪影響がみられないと判断される濃度」であると述べている。

現在は表1の値を目標に粉じん抑制の努力が払われているようであるが、曝露濃度の算術平均を求める方向に視点をかえてもよいと考えられる。1日表1. 許容濃度(日本産業衛生学会の勧告値より)の作業時間に占める吹付け作業の時間は20%以下と考えられるからである。なお、図4の測定を行った現場で作業者に個人サンプラーを装着してもらい、曝露濃度の算術平均を求めると $1.74 mg/m^3$ となった。

許容濃度の関連では、吹付け作業時の許容濃度は吹付け材料の遊離けい酸含有率との関連で考えられるべきだが、実際には地山の含有率を問題にしているように見受けられる。さらに、筆者らも含めて吹付け材料の遊離けい酸含有率は2、3点発表されているが、データにより含有率が相当異なっているようである。

K 値の測定については、切羽(ノズル)から5 m程度離れた位置で測定する例が多いようだが、粉じん濃度の変動が激しいので、むしろ15 m程度離れた濃度がほぼ一様と考えられる地点での測定の方が望ましいと考えられる。

データがさらに集まった段階で再考察し、報告する予定である。

参考文献 1) 日本産業衛生学会：許容濃度(1983) 昭和58年4月5日

2) (社)日本作業環境測定協会：作業環境測定ガイドブック-鉱物性粉じん関係-

3) 高野晴男, 畑山栄一：トンネル粉じん処理実験(第1報)-コンクリート吹付け時粉じん処理実験 奥村組年報 Ⅻ 8

4) 常野有史, 田中松男：NATM施工の粉塵処理とびしま技報 1981.8 Ⅻ 27

5) 岡田正之, 関順一他：吹付けコンクリートの粉じん抑制に関する研究 土木学会第39回年次学術講演会概要集 第3部

I. 遊離珪酸含有10%以上の粉塵

$$\text{吸入性粉塵 } M = \frac{2.9}{0.22Q + 1} \text{ mg/m}^3$$

$$\text{総粉塵 } M = \frac{12}{0.23Q + 1} \text{ mg/m}^3$$

Q: 粉塵中遊離珪酸含有率(%)

II. 各種粉塵

	粉塵の種類	吸入性粉塵	総粉塵
第2種粉塵	遊離珪酸10%未満の 鉱物性粉塵	1 mg/m^3	4 mg/m^3
	ボートランドセメント	1 mg/m^3	4 mg/m^3