

# 遠心力トンネル吹付け工法と現場展開

—吹付け作業の低粉じん化を目指して—

長野 祐司・丸山 信一郎

近年、粉じんによる労働災害が社会問題化しており、粉じん障害への取組みについて感心が高まっている。建設業界においては平成12年度に厚生労働省より「ずい道等建設工事における粉じん対策に関するガイドライン」が示され、坑内作業の粉じん低減が緊急な課題となっている。このガイドラインに沿って事業者及び施工者に対してトンネル工事の粉じん低減対策の実施を求めている。坑内作業のうち最も粉じんを発生する工種は吹付け工であるが、粉じん低減化のため、三井住友建設株式会社は通常行われるエア式吹付け工法と全く原理の異なる遠心力を利用した「遠心力トンネル吹付け工法」（ダストレスショットクリート工法）を開発してきた。現在、試験段階から実施段階に移行しつつある。本報文では同工法を用いて作業環境向上を目的にした現場実施工の概要と結果を報告する。

キーワード：吹付け、ガイドライン、粉じん、遠心力、粉体急結剤

## 1. はじめに

遠心力トンネル吹付け工法は平成4年に開発された深礎用遠心力吹付け機にその原型を發する。深礎の山留めに用いられるライナープレートに替えてモルタルを遠心力を利用し地山に吹付け、山留めとする工法である。

吹付け機を深礎センターに吊下げ、遠心力を与える回転羽根（インペラー）が水平方向全周にわたって材料を吹付ける。吹付け機を上下させて重ね吹きをし規定の吹付け厚さに達する。圧縮空気を用いないため粉じんの発生が少なく小口径深礎において作業環境を損なわないという特長がある。

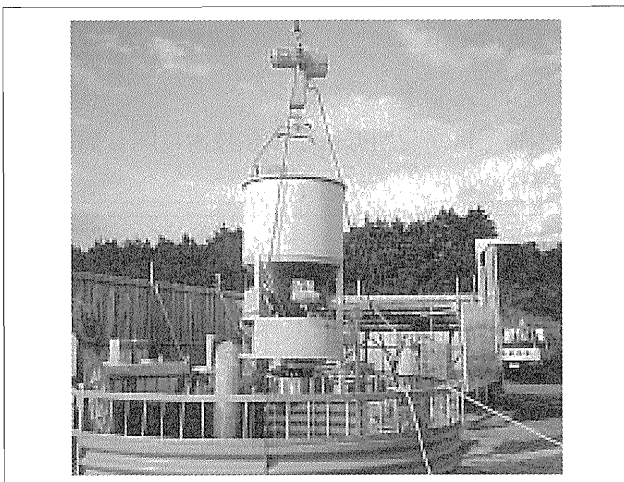


写真-1 遠心力深礎用吹付け機

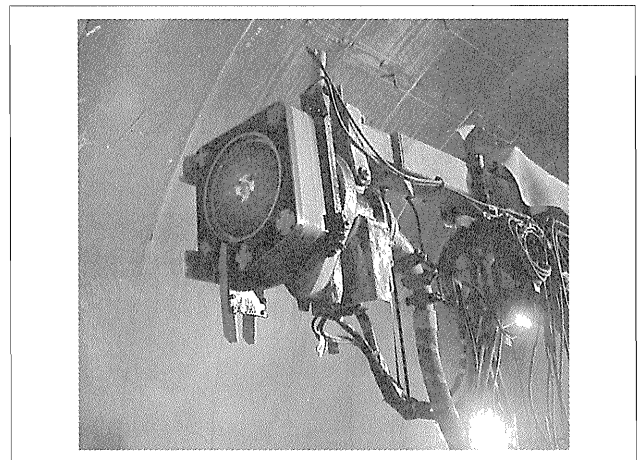


写真-2 遠心力トンネル用吹付け装置

水平方向全周にわたり吹付けを行う深礎用遠心力吹付け機に対し、遠心力トンネル吹付け機は吹付け方向を全周ではなく一方向のみに絞ると共に垂直水平吹付けも可能となる構造としたものである。

遠心力系の吹付け機は急結剤供給用の少量のエアを使用するだけであるため吹付け材料のエア拡散が少なく低粉じんを特徴としている。写真-1に深礎用吹付け機、写真-2にトンネル用吹付け装置を示す。

## 2. 遠心力トンネル吹付け機の構造と特徴

遠心力トンネル吹付け機の全体姿を写真-3に、遠心力トンネル吹付け装置を図-1に示す。

遠心力吹付け装置は①～③の3つの部分で構成され

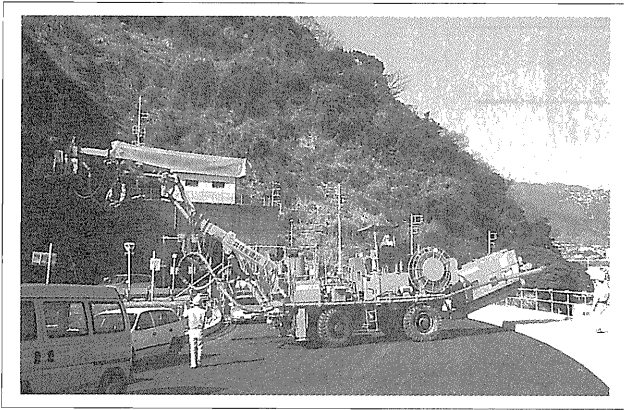


写真-3 遠心力トンネル吹付け機の外観

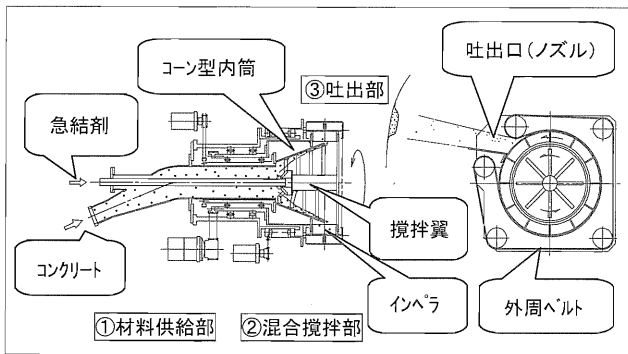


図-1 遠心力吹付け装置

ている。

- ① コンクリートポンプからコンクリートを受取るコンクリート供給管と急結剤を搬送する急結剤供給管で構成される材料供給部。
- ② テーパー状の内筒管と高速回転する攪拌翼で構成される混合攪拌部。
- ③ 高速回転するインペラで混合吹付けコンクリートに遠心力を付加し吐出口から壁面に投射する吐出部。吹付け材料は通常の配合の吹付けコンクリートを用いる。また、急結剤も通常の粉体急結剤を用いる。材料系に関しては通常のエア吹付けと変わらないことが特徴である。

### 3. 現場への投入

遠心力トンネル吹付け機は以前行った2回の試験施工の後、改良を行い道路断面トンネルと小断面トンネルに投入した。実サイクルでの作業環境改善を目的として粉じん低減効果、及び施工性の確認を行うこととした。このため次の目標値を掲げた。

- ① 切羽作業環境向上のため、ガイドライン基準値以下を目指す。
- ② 施工能率が従来工法と同等以上であること。
- ③ 通常のエア吹付け方式と同等配合のコンクリート

を使用すること。

- ④ 同じく粉体急結剤を使用すること。

#### (1) 立岩トンネル工事(道路トンネル)

一般道路トンネルである静岡県国道135号線立岩トンネル工事において平成16年3月の掘削開始から投入した。実際の掘削サイクルの中で吹付け施工を行い5月末までに延長160m、総吹付け量1,147m<sup>3</sup>となった。以下に工事概要を示す。

- ・工事名称：135号道路改良工事立岩トンネル
- ・工事場所：静岡県熱海市網代地内
- ・工事内容：NATM タイヤ式機械掘削

トンネル延長  $L=284$  m

- ・掘削断面積：87.21~23.3 m<sup>2</sup>
  - ・工期：平成15年10月17日~同17年6月22日
- 遠心力トンネル吹付け機の外観及び主要仕様を写真-3、表-1に示す。

表-1 立岩トンネル工事主要仕様

吹付け方式	遠心力方式
吹付け能力	6~15 m <sup>3</sup> /h
コンクリート供給	コンクリートポンプ (20 m <sup>3</sup> /h)
使用急結剤	粉体急結剤
急結剤混合方式	強制攪拌方式
台車	タイヤ走行式
電動機出力	105 kW

#### (a) 吹付け材料

吹付け材料コンクリートは通常のエア吹付けに使用する配合とし、急結剤は粉体(デンカナトミック T-5)を使用した。表-2に配合を示す。24時間プルアウト強度は9.9 N/mm<sup>2</sup>、28日圧縮強度は27.7 N/mm<sup>2</sup>であり基準強度を満足した。

表-2 立岩トンネル吹付けコンクリート配合

水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単位置量 (kg/m <sup>3</sup> )				急結剤 添加率 (%)
		水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	
58	58	209	360	1,030	755	7.0

#### (b) 粉じん測定

粉じん測定は同時期低粉じん化技術に関し独立行政

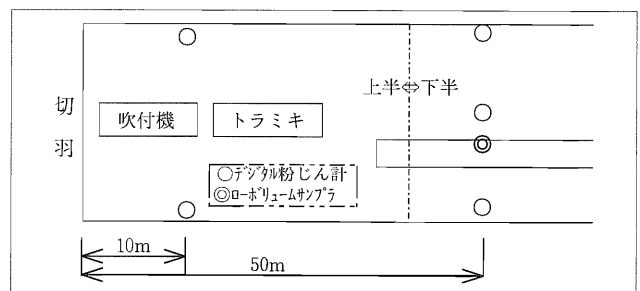


図-2 立岩トンネル工事粉じん測定機器の配置

表-3 立岩トンネル粉じん測定結果

坑内換気量 (m³/min)			1回目	2回目	3回目	使用機器
ローボリューム サンプル	質量濃度	切羽より50m (mg/m³)	1.09	1.66	0.08	LV-40 B
	算出K値		0.00099	0.00119	0.00039	
デジタル粉じん計	相対濃度 (カウント値)	①切羽より50m左 (CPM)	997	1,448	208	LD-3 K
		②切羽より50m中 (CPM)	1,106	1,393	214	
		③切羽より50m右 (CPM)	1,234	1,591	206	
	①, ②, ③平均 (CPM)	1,112	1,477	209		
質量濃度	①, ②, ③平均 (mg/m³)	1.01	1.76	0.08	算出K値採用	

法人士木研究所と共同研究を行っていた関係者で行った。測定方法は図-2に示す通り切羽後方50m地点にデジタル粉じん計3台とローボリュームサンプル1台を配置した。粉じん測定結果を表-3に示す。

この結果、切羽後方50m地点で3mg/m³以下とする厚生労働省ガイドラインの目標レベルを下回ることを確認した。

(c) 施工性

遠心力トンネル吹付け機を投入したことによる施工サイクルの影響は無く、通常のエア吹付けと同等程度の施工能力を発揮したものとする。留意点として以下の3点が挙げられる。

- ① コンクリートポンプでブーム先端の吹付け装置まで吹付け材料を圧送するため、圧送性の確認をする事。
- ② ブーム先端の吹付け装置を切羽に衝突させないように注意する事。

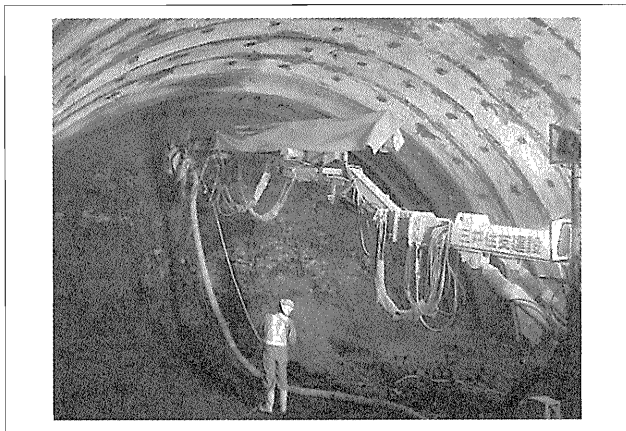


写真-4 立岩トンネル工事吹付け状況

- ③ 吹付け後の吹付け装置の洗浄を十分に行う事。  
写真-4に吹付け状況を示す。

(2) 相模原トンネル工事(小断面トンネル)

小断面トンネルにおいては内空断面の関係で低粉じん化技術の選択肢が少ない。ガイドラインでも粉じん濃度目標レベルの達成が困難な中小断面のトンネルでは緩和策が取られているのが現状である。

遠心力トンネル吹付け機の特徴を生かして小断面トンネルへ適応展開を図るために、平成16年9月に投入した。吹付け延長102m、吹付け総量276m³を施工した。工事概要は以下の通りである。

- ・工事名称：公共下水道溝上大野台雨水幹線整備工事
- ・工事場所：神奈川県相模原市麻溝台
- ・工事内容：工事延長 945m  
標準掘削断面積 17.63m²  
内空断面積 11.039m²
- ・工期：平成15年6月25日～平成18年2月28日

遠心力小断面トンネル吹付け機の全体図及び主要仕様を図-3、表-4に示す。

表-4 相模原トンネル工事主要仕様

吹付け方式	遠心力方式
吹付け能力	3~10m³/h
コンクリート供給	コンクリートポンプ(10m³/h)
使用急結剤	粉体急結剤
急結剤混合方式	強制攪拌方式
台車	レール走行式
電動機出力	75kW
重量	9,000kg

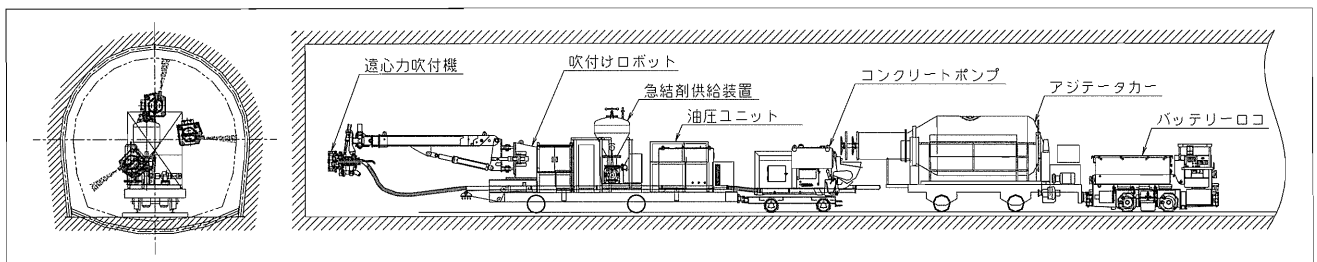


図-3 遠心力小断面トンネル吹付け機全体図

(a) 吹付け材料

吹付け材料コンクリートは通常のエア吹付けに使用する配合とし、急結剤は粉体（デンカナトミック T-5）を使用した。表-5 に配合を示す。また、同時に行ったエア吹付け方式と比較した強度試験結果を表-6 に示す。

表-5 相模原トンネル工事吹付けコンクリートの配合

水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単 位 量 (kg/m <sup>3</sup> )				急結剤 添加率 (%)
		水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	
56	65	202	360	1,075	596	7.0

表-6 相模原トンネル工事吹付けコンクリートの強度

吹付け方式	プルアウト試験 (24h) (N/mm <sup>2</sup> )	圧 縮 強 度 (28日) (N/mm <sup>2</sup> )	急結剤添加率 (%)
遠心力吹付け	7.2	26.2	7.0
エア吹付け	7.7	28.5	7.0

(b) 粉じん測定

現場の換気設備は排気方式であり、坑内で発生した粉じんの多くは風管を通して郊外へ排出される。切羽後方 5 m 地点と切羽後方 50 m 地点にデジタル粉じん計を設置し、遠心力吹付けの場合とエア吹付け（アリバー 285）の場合の両方の測定を行った。図-4 に測定機器の配置、表-7 に測定結果を示す。

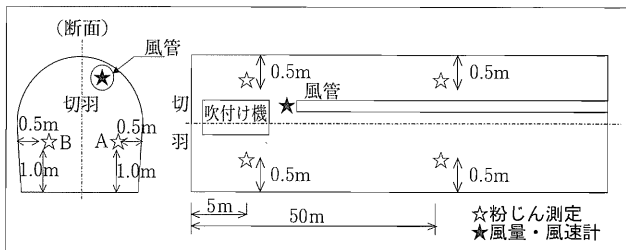


図-4 相模原トンネル工事測定機器配置

表-7 相模原トンネル工事粉じん測定結果

吹付け方式	吹付け条件		粉じん濃度	
	コンクリート 吐 出 量 (m <sup>3</sup> /h)	換 気 量 (m <sup>3</sup> /min)	切羽から 5 m (CPM)	切羽から 50 m (CPM)
遠心力吹付け	9	63.0	247	—
	9	63.0	218	—
	8.5	63.0	318	4
	9	—	298	3
エア吹付	—	59.6	610	—
	—	59.6	658	104
	10.5	53.0	815	—
	10.5	53.0	791	9

\* 測定器 P-5 L<sub>2</sub>

ローボリュームサンプラを設置しなかったため、K 値の算出はできなかったが、切羽後方 5 m 地点で遠心力吹付けはエア吹付けの約 1/3 程度の粉じん濃度となっている。換気設備が排気方式であるため大部分の

粉じんが風管を通じ排気され、切羽 50 m 後方では小さな値となっている。

エア吹付けで一部大きな値となっているのは、粉じんにより視界不良となった吹付け面を良く見えるように生エア噴射を行っているが、この一部が粉じんを伴い風管吸入口をすり抜け、後方まで逆流浮遊したためと思われる。

写真-5 に遠心力小断面吹付け機の全体姿、写真-6 に吹付け状況を示す。

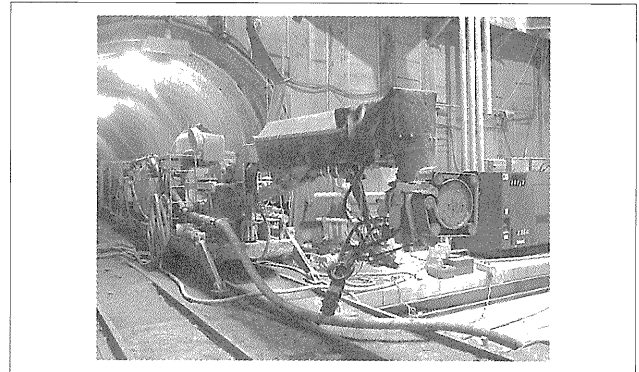


写真-5 小断面トンネル吹付け機の全体姿

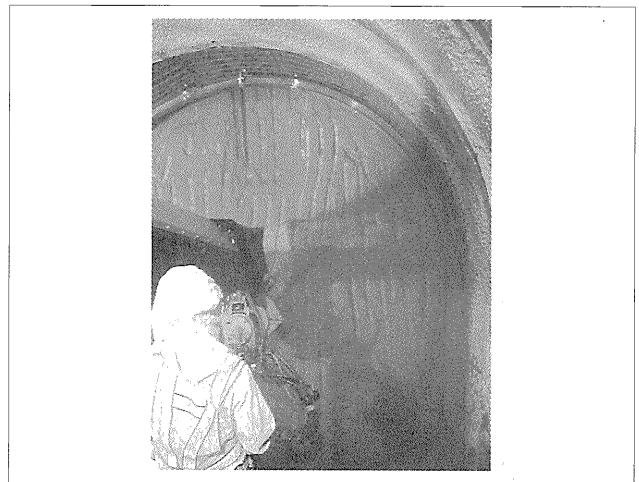


写真-6 吹付け状況

4. 土木研究所での吹付け試験

独立行政法人土木研究所において民間提案型共同研究「ずい道建設における吹付け作業時の発生粉じん量の低減技術および局所集じんシステムの開発」が行われ、当遠心力トンネル吹付け機も新吹付け方式の一案として参加した。ここでは一般的な吹付け材料を用いて行った遠心力吹付け機による吹付け試験の結果について述べる。

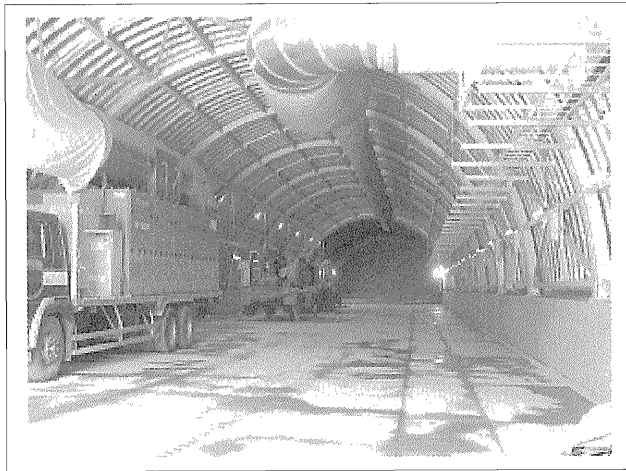
(1) 試験設備

土木研究所において平成 14 年度に建設工事環境改

善実験施設（以下、模擬トンネルと記す）が建設された。この模擬トンネルは断面積 80 m<sup>2</sup>、延長 100 m の規模を持ち、粉じん対策技術の実大規模の実験を行うことができる。写真—7 に模擬トンネル外観を、写真—8 に模擬トンネル内部を示す。



写真—7 模擬トンネル外観



写真—8 模擬トンネル内部

(2) 使用機材及び材料

吹付け試験に使用した遠心力トンネル吹付け機は、写真—3 に示す立岩トンネルに使用した機材を用いた。又、今回示す粉塵データに用いた吹付けコンクリート

は通常の吹付け配合のものであり、急結剤も通常の粉体急結剤を用いた。表—8 に吹付けコンクリートの配合を、表—9 にその強度試験結果を示す。

表—8 土木研究所吹付けコンクリート配合

水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単 位 量 (kg/m <sup>3</sup> )				粉 体 急 結 剤 添 加 率 (%)
		水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	
58.3	60	210	360	1,020	684	7.0

表—9 吹付けコンクリート強度試験結果

吹付け方式	プルアウト試験 (24 h) (N/mm <sup>2</sup> )	圧 縮 強 度 (28 日) (N/mm <sup>2</sup> )	粉体急結剤 添 加 率 (%)
遠心力吹付け	14.1	22.9	7.0

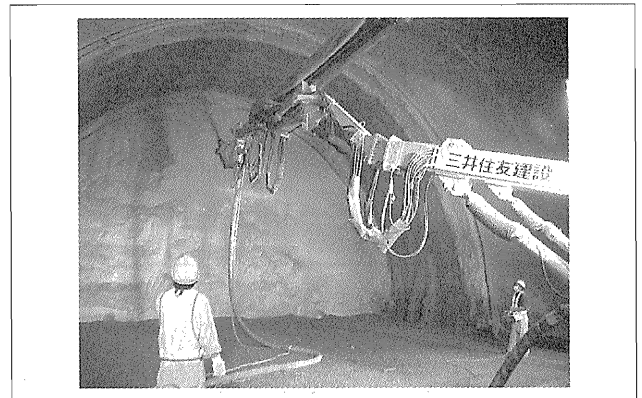
(3) 粉じん測定

粉じんの測定に当たり、試験条件を統一するため事前

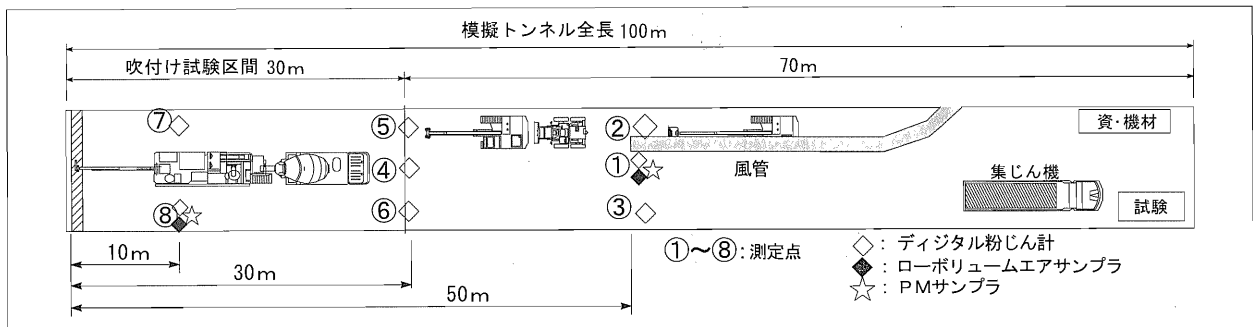
表—10 粉じん測定結果

	測定位置 (単 位)	1 回目	2 回目	3 回目
ローボリューム サンプラ	50 m 後方 (mg/m <sup>3</sup> )	1.09	1.14	1.74
	10 m 後方 (mg/m <sup>3</sup> )	1.13	1.43	2.50
デジタル粉塵計	50 m 後方 (CPM)	1,232	1,297	1,505
	10 m 後方 (CPM)	1,433	1,427	2,059
K 値	50 m 後方	—	0.00088	0.00116
	10 m 後方	—	0.00079	0.00100

コンクリート吐出量：約 11 m<sup>3</sup>/h  
ローボリュームサンプラ：LV-40 B  
デジタル粉じん計：LD-3 K



写真—9 模擬トンネル内の吹付け状況



図—5 粉じん測定器配置図

に換気設備の設定を行った。模擬トンネル内で通常のエア吹付け（低粉塵化技術は無対策）を行い、切羽50 m 後方で粉じん濃度  $7 \text{ mg/m}^3$  の環境を作った。この時の送気換気量  $1,000 \text{ m}^3/\text{min}$ 、集じん機による集じん量  $1,200 \text{ m}^3/\text{min}$  を吹付け試験時の統一換気条件とした。図—5 に粉じん測定器配置図、表—10 に測定結果、写真—9 に吹付け状況を示す。

## 5. おわりに

遠心力吹付け機の原型である深礎用遠心力吹付け機は姿を変え、遠心力トンネル吹付け機として登場した。

今回の施工により遠心力方式が持つ低粉じん性能が時代の要求に合致し、厚生労働省の「ずい道建設工事の粉じん対策ガイドライン」の粉じん濃度目標レベル  $3 \text{ mg/m}^3$  を満足することが確認されたと考える。又、実現場での施工を通し、いくつかの課題を解決できたのも大きな収穫であった。今後、更に発展させ低粉塵

化技術の一翼を担える技術として確立するよう努力したい。

JCMA

### 《参考文献》

- 1) 厚生労働省：ずい道等建設工事における粉じん対策に関するガイドライン 2000.12
- 2) 大下武志：トンネル工事における粉じん対策技術の開発，平成15年度土木研究所講演会講演集，2003.10.8

### 【筆者紹介】

長野 祐司（ながの ゆうじ）  
三井住友建設株式会社  
技術研究所  
土木研究開発部  
土木生産技術研究室  
室長



丸山 信一郎（まるやま しんいちろう）  
三井住友建設株式会社  
技術研究所  
土木研究開発部  
土木生産技術研究室  
研究員



現場技術者のための

# 建設機械整備用工具ハンドブック

- ・建設機械整備用工具約180点の用語解説と約70点の使い方を収録。
- ・建設機械の整備に携わる初心者から熟練者まで幅広い方々の参考書として好適。

■ A5判 120頁

■ 定価：会員 1,050円（消費税込），送料420円

非会員 1,260円（消費税込），送料420円

社団法人 日本建設機械化協会

〒105-0011 東京都港区芝公園3-5-8（機械振興会館） Tel. 03(3433)1501 Fax. 03(3432)0289