

◆ 報 文 ◆

トンネル建設工事における粉じん対策実験 (中間報告)

大下武志 * 波田光敬 ** 井谷雅司 *** 尾花誠太郎 ****

1. はじめに

トンネル建設工事に伴って発生する粉じんに起因するじん肺症等の粉じん障害は、重大な社会問題になっている。平成12年12月に策定された厚生労働省の「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」(以下、ガイドラインという)の粉じん濃度目標レベル $3\text{mg}/\text{m}^3$ を目標として、各現場の受注者・発注者は作業環境の改善に努力してきているところである。

このため土木研究所では、トンネル建設工事の中でも最も作業環境の厳しいコンクリート吹付け作業に着目し、14年度に建設工事環境改善実験施設(延長100m、断面積 80m^2)を建設するとともに、14年度から官民19機関で粉じん対策技術開発の共同研究を開始している。

本稿では最新の粉じん対策技術、今回建設した実験施設および共同研究の概要、並びに15年度に実施した共同実験結果の速報を紹介する。

2. 粉じん対策の現況

2.1 じん肺を引き起こす粉じん

空気中に浮遊している粉じんの大きさは様々であり、その大きさには幅がある。じん肺を引き起こすと考えられる粉じんの粒径は $1\sim 5\mu\text{m}$ といわれている。

2.2 ガイドラインでの粉じん対策

ガイドラインは、ずい道等建設工事における粉じん対策について、具体的な対策内容を一体的に示すことにより粉じん障害防止対策の一層の充実を図ることを趣旨としている。

粉じん濃度の目標値については、この中で初めて $3\text{mg}/\text{m}^3$ が示された。また、測定位置については、「切羽から坑口に向かって50m程度離れた位置における断面において、床上50cm以上、150cm以下の同じ高さで、それぞれの側壁から1m以上離れた点および中央の点の3点」とされた。ただし、中小断面のずい道等のうち、 $3\text{mg}/\text{m}^3$ を達成することが困難と考えられるものについては、できるだけ低い値を目標レベルとす

ることになっている。

2.3 粉じん濃度・粉じん対策の現状

平成13年度に国土交通省、日本道路公団、日本鉄道建設公団で当時施工中の山岳トンネル建設現場を対象にアンケート調査を行い、トンネル延長、断面、地質等の一般事項、各作業時(掘削、ずり搬出、吹付け)の粉じん対策状況等のアンケート調査を行った。

国土交通省が68現場、日本道路公団が70現場、日本鉄道建設公団が35現場、その他1現場の合計174現場から回答が得られた。

延長別では、 $500\sim 2000\text{m}$ が多く、断面積では $60\sim 100\text{m}^2$ が多い。送風量は $1000\sim 2000\text{m}^3/\text{分}$ が多く、坑内風速では $0.2\sim 0.6\text{m}/\text{sec}$ が多い。また、集じん機については58%の現場で活用されている。しかし、常時稼働しているのは51%にとどまり、粉じん量の多い作業時だけに利用している現場も多い。

粉じん抑制剤は21%、高粘性・高品質吹付けは31%の現場で採用されており、排ガス浄化装置はほとんどの現場に普及している。また、電動ファン付きマスクも43%の現場で利用されているが、一部の作業員だけに限られている現場も相当ある。

ずり積み作業時には20%の現場で(図-1)、

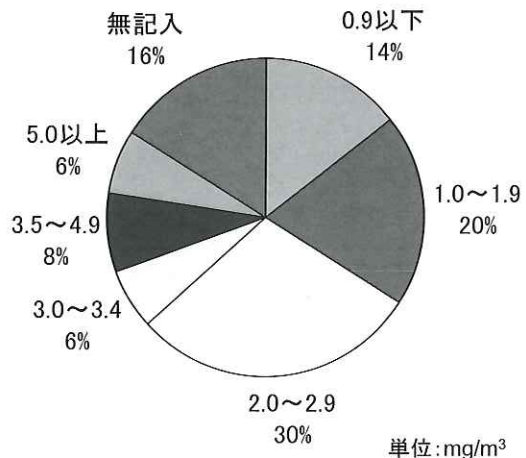


図-1 ずり積み作業時の粉じんレベル

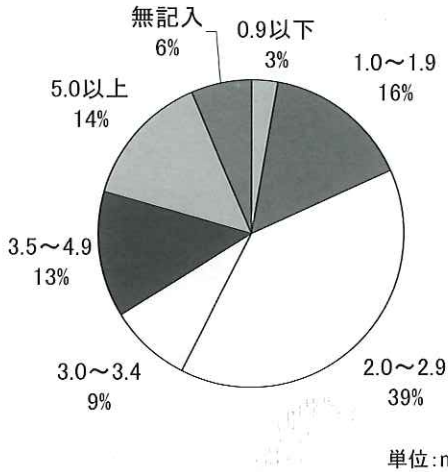


図-2 吹付け作業時の粉じんレベル

吹付け作業時には36%の現場で(図-2)粉じん濃度が3mg/m³を超えている。

3. 工事環境改善実験施設

3.1 実験施設建設の背景

粉じん対策技術の開発を行うため、建設工事環境改善実験施設を平成13年度第2次補正予算で



写真-1 実験棟内部



写真-2 実験棟外観と送風機

建設することになり、平成15年2月に完成した(写真-1, 2)。ガイドラインの策定以降、粉じん濃度を低減させるための新しい材料やコンクリート吹付け工法、換気方法等の技術が提案されており、同一の条件の下でこれらの効果を確認し、現場導入するために実証実験が必要となり、本施設を建設することとした。

3.2 実験施設の諸元

建設工事環境改善実験施設は、土木研究所の中で最も北側に位置しており、5棟の建物から構成されている。主要な建物と設備の諸元を表-1に示す。

4. 粉じん対策の共同研究

4.1 共同研究の概要⁴⁾

「ずい道工事における吹付け作業時の発生粉じん量の低減および局所集じんシステムの開発」として粉じん対策の共同研究を平成14年度~平成16年度の3年間で実施している。共同研究の参加者は土木研究所、(財)先端建設技術センター、総合建設業(西松建設(株)、(株)フジタ、鹿島建設(株)、(株)鴻池組、前田建設工業(株)、(株)三井住友建設)、機械メーカー(石川島播磨重工業(株)、リブコンエンジニアリング(株)、小林エンジニアリング(株)、ケー

表-1 主要諸元⁵⁾

実験棟	構造	RC造(30m)、鉄骨造(70m)
	内空断面積、寸法	81.7m ² 、7.9m(H) × 12.8m(B) × 100m(L)
その他建物	計測棟	172.9m ² (計測室43.7m ² 、屋内ストックヤード51.1m ²)
	屋外ストックヤード	79.3m ² (2棟合計)
送風機	処理風量	最大1500m ³ /分(インバータにより無段階に可変)
	風管径	1500mm
集じん機	集じん形式	バグフィルター
	処理風量	最大1800m ³ /分

ビーシーマシナリ(株)、材料メーカ (株)エヌエムビー、(株)カテックス、信越化学工業(株)、太平洋マテリアル(株)、電気化学工業(株)、集じん機メーカ (日鉄鉱業(株)、(株)三井三池製作所) の 19 機関である (図-3)。

共同研究の実施にあたっては、

- ①発生抑制技術 (材料・吹付け機械の改良により粉じん発生量を低減する)
- ②希釈除去技術 (やむなく発生した粉じんを効率的に希釈除去する)
- ③人体に対する吸入防止技術 (防じんマスク・電動ファン付マスク等の呼吸用保護具を作業員の作業形態を勘案して常時着用しやすいものに改善する) の観点から、短期間で効果があがる技術開発を行うこととした。

なお、電動ファン付呼吸用保護具の改善については、マスクメーカ 3 社および (財) 先端建設技術センターと別途、平成 13 年度～平成 15 年度の予定で上記と同様に民提案型の共同研究を行っている。

4.2 共同研究の体制

共同研究では、短期間で効率的・効果的に研究開発を行うため、図-3 に示すように工法別にグループを設け分科会形式で活動を行うとともに幹事会・全体会議で合同評価実験の企画・作業分担・調整を行っている。

各グループでは以下の研究開発を行っている。

①新方式吹付けグループ

エア (圧縮空気) を使用せず、遠心力等を用いた吹付けシステムにより、吹付けコンクリートの乾燥によるセメント・急結剤の飛散を低減し、粉じん量の低減を図る

②エア吹付け (粉体急結剤) グループ

従前のエア吹付けで粉体急結剤を用いて、さらに粉じん抑制剤、粉じん低減剤、低粉じん型急結

剤、SEC 練り、スラリーショットにより粉じん量の低減を図る

③エア吹付け (液体急結剤) グループ

アルカリフリー液体急結剤を用いたエア吹付けにより粉じん量の低減を図る

④局所集じんグループ

切羽での種々のエアカーテン方式により、効率的に集じんを行う局所集じんシステムにより、発生した粉じんの希釈・除去を図る

5. 平成 15 年の共同実験

5.1 坑内風向・風速事前確認実験

局所集じんグループでは、切羽で発生した粉じんをエアカーテンで封じ込めて拡散を防止した上で、小型集じん機で効率的に回収するシステムを開発するために 3 種類のエアカーテン方式を実験した。事前実験においては以下を確認した。

①送風機風量、風管位置による風速分布を調べ、切羽のエアカーテンを壊さない風量・風管位置を求めた (写真-3)。

②局所集じんシステムを据え付け、エアカーテン発生時の周辺の風速分布を測定した。また発煙筒により、模擬的に煙を発生させ、風の流れ、集じん効果を確認した (写真-4)。

5.2 作業条件のキャリブレーション実験

実験トンネルの下地が 25mm の鋼板であり、そのままでは吹付け時にリバウンドが大量に発生することが予想され、また吹付けコンクリートの付着を良くするため、下地吹付けを兼ねてキャリブレーション実験を行った。

この時、一般的な配合条件・施工機械での標準工法による粉じん量のデータを求めた。換気条件と粉じん濃度の相関を取り、送風量については 1000m³/分、集じん量 1260m³/分とした。

これは 80m² クラスのトンネルでは、坑内平均

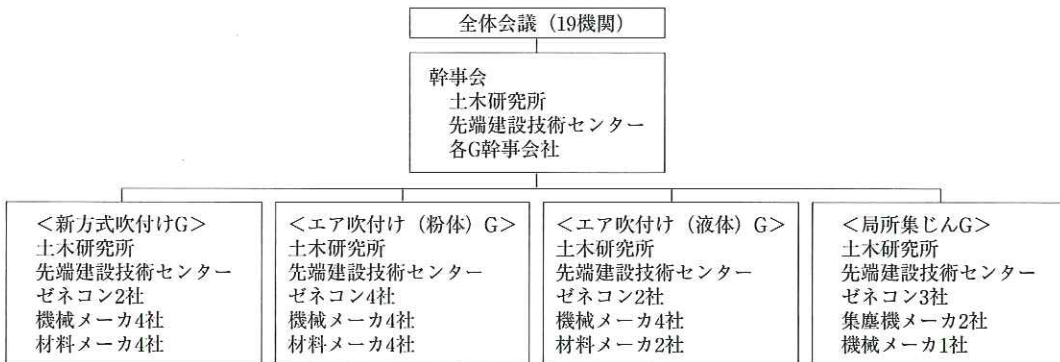


図-3 共同研究の体制



写真-3 風速測定状況



写真-5 エアレス吹付け機

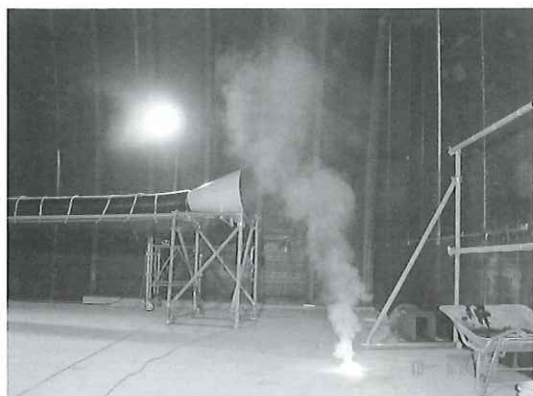


写真-4 発煙筒による実験状況



写真-6 ダストレスの吹付け機

風速 0.3m/sec を確保するために 1500m³/分程度の送風量が一般的に必要なが、今回使用した生コンプラントの骨材の品質、また実験トンネルの作業環境（床はコンクリート舗装等）が良く、吹付け時に発生する粉じん量が比較的少ないことがわかったため、標準工法での粉じん量を 5～6mg/m³ 程度確保するため送風量・集じん量を意図的に下げたものである。

また、送風機の風管の位置は切羽から 50m 地点とした。さらに吹付けコンクリートの吐出量については実際の現場での作業条件に合わせるため 12m³/h 程度とした。

5.3 新方式吹付けグループ

エアレス吹付け方式については液体急結剤（2種類）およびスラリー（粉体急結剤と水を事前に混合しスラリー化したものをコンクリート吐き出し口の先でコンクリートに混合）で、ダストレスショットクリートは粉体急結剤の種類を変えて強度試験、粉じん濃度、粉じん粒径、リバウンドの実験を行った。

なお、これらの工法は圧縮空気を使用しないため、それぞれの吹付け機械を用いて実験を行った

（写真-5、6）。

5.4 エア吹付け（粉体）グループ

標準工法による方法との効果を比較するため、粉じん低減剤（ナトムクリーン、ショットクリーン）、低粉じん急結剤（ショットマスター R）、SEC 練り、スラリーショット（粉体急結剤を水と混合しスラリー状にしてコンクリートに混入する）について強度試験、粉じん濃度、粉じん粒径、リバウンド（写真-7）の実験を行った。

5.5 エア吹付け（液体）グループ

2種類の液体急結剤について、単位セメント量を変えて強度試験、粉じん濃度、粉じん粒径、リバウンドの実験を行った（写真-8）。

液体急結剤については、初期強度が粉体急結剤より低いことが一般的に言われており、施工後分単位での強度を確認するため、超初期強度試験（針貫入試験）も行った。

5.6 局所集じんグループ

吹付け機、生コン車が実験用トンネルにあるときの吹付け作業時の作業形態・配置での風速分布の測定を送風機の風量を変えて行った。

また、①横方向エアカーテン（横方向プロア



写真-7 リバウンド実験

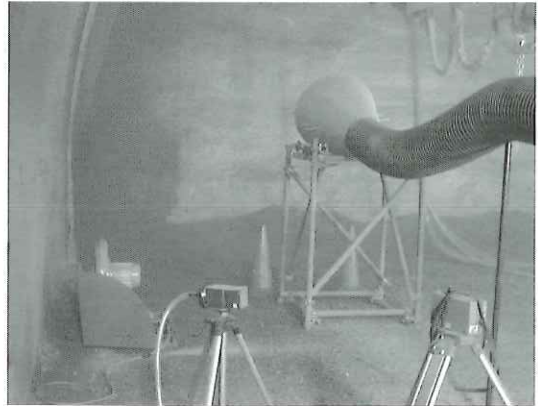


写真-9 横方向エアカーテン (左下)

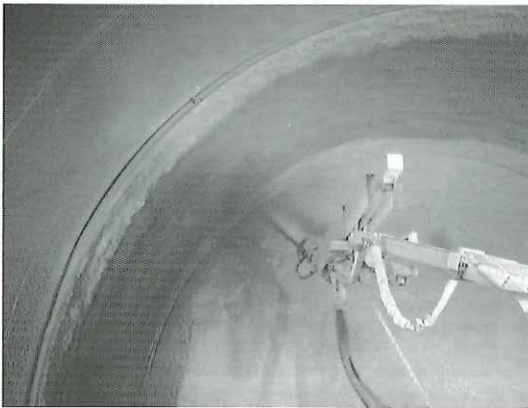


写真-8 液体急結剤実験状況



写真-10 排気エアカーテン

(15m³/分×2台)、②排気エアカーテン (局所集じん機 250m³/分の排気を横方向に出しエアカーテンを作る)、③コーン状エアカーテン (吹付けノズルの回りにコーン状に圧縮空気を送り、粉じんを封じ込め局所集じん機で粉じんを捕集) について実験を行った (写真-9、10)。

さらに、別途数値シミュレーションによる風速および粉じん濃度分布の数値解析を行っており、効果的・効率的・理論的に研究を進めたいと考えている。^{2)、3)}

5.7 実験結果

今年度の実験で、図-4 に示すような結果が明らかになった。新方式、液体急結剤では通常の吹付け方法に比較して大きく粉じん濃度が低減でき、粉じん低減剤、低粉じん型急結剤、スラリーショット、局所集じんでも相当量の粉じんが低減できることがわかった。

また、ローボリュームエアサンプラーの粉じん濃度 (mg/m³) とデジタル粉じん計による粉じん量を変換する K 値の取扱いについて検討した。

厚生労働省のガイドラインでは、今回使用した

デジタル粉じん計、LD-3K の K 値は 0.003 となっているが、吹付け材料・方法等により粉じんの粒径・水分等のためか K 値は変動が大きく、ガイドラインで示されている K 値はかなり安全側の係数であるといえそうであるが、さらに検討を進めたい (図-5)。

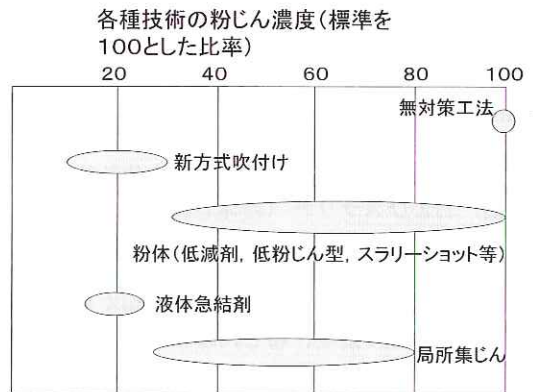


図-4 今回の実験結果

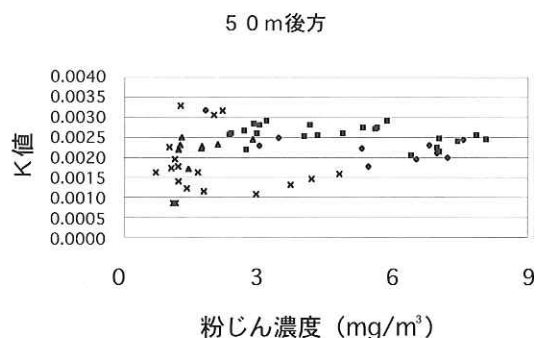


図-5 K値のバラツキ

5.8 今後のスケジュール

今後は、今回の実験で効果が確認された各種の技術について、技術の改良、追加実験を行い、平成16年5月から約2ヶ月間、共同実験を行うこととしている。また、平成15年度は各社の工法の確認が主体であったが、平成16年度は粉じん発生のメカニズムも含む基礎的な比較実験も行いたいと考えている。

また、すでに現場で活用できそうな技術もあり、それらの技術については地方整備局等の試験フィールド等によって、現場での確認実験を行っていきたいと考えている。

6. まとめ

粉じん対策技術の共同実験を行い、以下の中間結果を得た。

- ①新方式吹付け、液体急結剤により粉じん濃度は2割程度に低減が可能である。また、局所集じんシステム、粉じん抑制剤、低粉じん型急結剤、スラリーショットにより相当の低減ができることがわかった。
- ②今後、現場で導入を図るには、湧水等の現場条件に対応可能なものが必要であり、16年度の実験等で検証が必要である。
- ③局所集じんについて工法の改良を図るとともに、

数値シミュレーションによる検証が必要である。
④デジタル粉じん計のK値について、粉じん濃度との相関式の同定、および他の機種も含めた検討が必要である。

謝辞

粉じん対策の研究については、労働省からガイドラインが出た平成12年度に検討に着手し、「建設工事における粉じん対策技術検討会」で検討し、現在の共同研究に至っている。委員会および共同研究の関係各位の御尽力・御協力に感謝するとともに、この共同研究の成果が早急に現場に普及し、トンネル工事の環境の改善に寄与するよう努力したい。

参考文献

- 1) 独立行政法人土木研究所：平成15年度土木研究所講演会講演集，土木研究所資料第3911号，平成15年10月8日，pp.11-30
- 2) 眞岸 徹、石原雅規、大下武志：トンネル吹付けコンクリート施工時の発生粉じん換気に関する解析的検討，第58回土木学会年次学術講演会 NO. VI-047，H15.9
- 3) 眞岸 徹、大下武志、波田光敬：トンネル吹付けコンクリート施工時の発生粉じんと換気条件に関する解析的検討，第25回日本道路会議土工部会 NO.08018，H15.11
- 4) 大下武志、波田光敬、井谷雅司、尾花誠太郎：トンネル工事における粉じん対策技術の開発，土木技術資料45-10 (2003)，pp.10-11
- 5) 石原雅規：建設環境改善実験施設について，土木技術資料45-5 (2003)，pp.10-11

大下武志*



独立行政法人土木研究所
技術推進本部施工技術
チーム主席研究員
Takeshi OSHITA

波田光敬**



独立行政法人土木研究所
技術推進本部施工技術
チーム主任研究員
Mitsutaka HADA

井谷雅司***



独立行政法人土木研究所
技術推進本部施工技術
チーム研究員
Masashi ITANI

尾花誠太郎****



独立行政法人土木研究所
技術推進本部施工技術
チーム交流研究員
Seitaro OBANA