共同研究報告書
整理番号第323号

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に関する共同研究報告書

民間提案型

平成１７年３月

独立行政法人土木研究所
財団法人先端建設技術センター
石川島播磨重工業株式会社
株式会社エヌエムビー
鹿島建設株式会社
株式会社カテックス
ケーピーシーマシナリ株式会社
株式会社鴻池組
小林エンジニアリング株式会社
信越化学工業株式会社
大平洋マテリアル株式会社
電気化学工業株式会社
西松建設株式会社
日鉄鉱業株式会社
株式会社フジタ
前田建設工業株式会社
三井住友建設株式会社
株式会社三井三池製作所
リブコンエンジニアリング株式会社

Copyright © (2005) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Chief Executive of P.W.R.I.

この報告書は、独立行政法人土木研究所理事長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、独立行政法人土木研究所理事長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

共同研究報告書
第323号 2005年3月

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に関する

共同研究報告書

独立行政法人土木研究所　技術推進本部（施工技術）主席研究員	大下　武志
独立行政法人土木研究所　基礎道路技術研究グループ(トンネル）上席研究員	真下　英人
財団法人先端建設技術センター　専務理事	水谷　敏則
石川島播磨重工業株式会社　理事	森安　宏
株式会社エヌエムビー　中央研究所開発第二グループ主任研究員	清水　哲史
鹿島建設株式会社　技術研究所副所長	阿部　裕
株式会社カテックス　建設資材事業部事業推進部長	粕谷　忠則
ケービーシーマシナリ株式会社　営業本部営業管理部営業支援チーム係長	嵯峨　豊
株式会社鴻池組　大阪本店土木技術部山岳トンネル担当部長	坂口　武
小林エンジニアリング株式会社　代表取締役社長	加藤　幸男
信越化学工業株式会社　有機合成事業部セルロース部建設材料分野部長	早川　和良
太平洋マテリアル株式会社　常務取締役	高野　幸男
電気化学工業株式会社　青海工場無機材料研究センター長	宇田川秀行
西松建設株式会社　技術研究所技術研究部長	近藤　操可
日鉄鉱業株式会社　機械・環境営業部機械営業課長	村上　宏
株式会社フジタ　技術センター土木研究部長	岡野　幹雄
前田建設工業株式会社　技術本部技術研究所長	横沢　和夫
三井住友建設株式会社　技術研究所生産システム室長	長野　祐司
株式会社三井三池製作所　産業機械事業本部流体機械部設計グループリーダー	有田　豊
リブコンエンジニアリング株式会社　代表取締役社長	櫻井　清一

要　旨

ずい道建設工事に伴って発生する粉じんは，作業効率を低下させるばかりではなく，作業員が長年にわたって吸込むと，じん肺にかかるおそれがある。このため，粉じん障害は大きな社会問題となっており，平成12年12月厚生労働省は「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」を策定した。そして，このガイドラインにおいて初めて3mg/m^{3}の目標値が示された。

そこで，掘削・ずり積込・吹付け等，その実施に伴い粉じんが発生するずい道内の作業のうち，吹付けコンクリート作業時に発生する粉じんに関する対策について，(独)土木研究所，(財)先端建設技術センター，民間17社により，平成14年度から3年間にわたり，ずい道建設における吹付け作業時の発生粉じん量低減技術および局所集じんシステムの開発に関する共同研究を民間提案型で実施してきた。本報告書は，この共同研究結果についてとりまとめたものである。

キーワード：トンネル，粉じん，吹付けコンクリート，集じん機

まえがき

ずい道建設工事に伴って発生する粉じんは，作業効率を低下させるばかりではなく，作業員が長年にわたって吸込むと，じん肺にかかるおそれがある。このため，粉じん障害は大きな社会問題となっており，平成12年12月厚生労働省は「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」を策定した。そして，このガイドラインにおいて初めて3mg/m^{3}の目標値が示された。

そこで，掘削・ずり積込・吹付け等，その実施に伴い粉じんが発生するずい道内の作業のうち，吹付けコンクリート作業時に発生する粉じんに関する対策について，ずい道建設における吹付け作業時の発生粉じん量低減技術および局所集じんシステムの開発に関する共同研究を行った。

なお，この共同研究は，それまでトンネル工事での粉じん対策について吹付け材料メーカー，機械メーカーおよび総合建設業者により個別に対応していたが，合理的な粉じん対策を検討するためには関係企業が連携して研究する必要があり，中立的立場にある土木研究所が，各企業の連携による研究の場を提供すべく，(独)土木研究所，(財)先端建設技術センターおよび民間17社により，平成14年度から3年間にわたり民間提案型で実施したものである。

その結果，吹付け材料の改良等による低減技術として，

- 粉じん低減剤による方法。
- スラリー急結剤による方法
- 液体急結剤による方法
- ＳＥＣによる方法
- 高品質吹付けコンクリートによる方法

吹付け機械による低減技術として，

- ダストレス吹付け機械による方法。
- エアレス吹付け機械による方法

集じん技術による低減技術として，

- 局所集じんシステムによる方法
- 伸縮風管システムによる方法

について技術改良・開発等を行った。

本報告書は，この共同研究結果についてとりまとめたものである。

独立行政法人土木研究所
技術推進本部（施工技術）　主席研究員　大下　武志
基礎道路技術研究グループ（トンネル）　上席研究員　真下　英人

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に関する共同研究報告書

目　次

1. 研究概要 …… 1
1.1 研究目的 …… 1
1.2 研究内容 …… 6
1.3 研究体制 …… 11
2. 対策技術と吹付けコンクリートの配合 …… 17
2.1 対策技術の選定 …… 17
2.2 吹付けコンクリート配合の決定にあたっての基本事項 …… 23
2.2.1 粉じん低減剤を使用する場合の配合 …… 24
2.2.2 スラリー急結剤を使用する場合の配合 …… 26
2.2.3 液体急結剤を使用する場合の配合 …… 27
2.2.4 SECにより製造したベースコンクリートを使用する場合の配合 …… 29
2.2.5 高品質吹付けコンクリートを使用する場合の配合 …… 30
2.2.6 ダストレス吹付け機械を使用する場合の配合 …… 31
2.2.7 エアレス吹付け機械でスラリー急結剤を使用する場合の配合 …… 32
2.2.8 エアレス吹付け機械で液体急結剤を使用する場合の配合 …… 33
2.2.9 局所集じんシステムを使用する場合の配合 …… 34
2.2.10 伸縮風管システムを使用する場合の配合 …… 35
3. 施　工 …… 37
3.1 施工一般 …… 37
3.2 対策技術の施工法 …… 38
3.2.1 粉じん低減剤を用いた施工法 …… 38
3.2.2 スラリー急結剤を用いた施工法 …… 39
3.2.3 液体急結剤を用いた施工法 …… 41
3.2.4 SECにより製造したベースコンクリートを用いた施工法 …… 44
3.2.5 高品質吹付けコンクリートを用いた施工法 …… 46
3.2.6 ダストレス吹付け機械に粉体急結剤を用いた施工法 …… 48
3.2.7 エアレス吹付け機械にスラリー急結剤を用いた施工法 …… 51
3.2.8 エアレス吹付け機械に液体急結剤を用いた施工法 …… 55
3.2.9 局所集じんシステムを用いた施工法 …… 57
3.2.10 伸縮風管システムを用いた施工法 …… 62

参考資料
(資料-1)： 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 …… 67
(資料-2)： 適用事例 …… 75
(資料-3)： 積算資料 …… 86

1. 研究概要

1.1 研究目的

吹付けコンクリートがトンネル工事に用いられたのは，1970年代からである。その後，種々の試験や現場実証を経て，今日山岳トンネル工法の支保部材の一部として用いられている。

一方，トンネル工事で発生する粉じん対策についても，種々の粉じん障害防止対策が推進されている。厚生労働省（旧労働省）は平成12年12月「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」（基発第768号-2：資料-1，以下ガイドラインという）を策定して粉じん濃度の目標値等の粉じん対策が示された。これに伴い「トンネル工事の粉じん発生作業に関する衛生管理マニュアル」[1)]が策定されるなど，一層の作業環境改善への努力が行われている。

そこで研究は，このガイドラインやマニュアルで示された吹付けコンクリート作業時の粉じん対策に関する種々の項目のうち，トンネル工事での吹付けコンクリートによる粉じんを低減することを目的としておこなった。

(1) 吹付け作業時の粉じん濃度のレベル

山岳トンネル工法によるトンネル建設工事では，切羽においては削孔，発破，ずり積み・ずり出し，こそく，吹付けコンクリート，鋼アーチ支保工，ロックボルトを繰り返しながら掘削を進めるのが一般的である。また，後方作業としては，覆工やインバート工などがある。

平成12年3月の調査によると[2)]坑内の粉じん濃度は，72箇所の単純平均で吹付け時4.16 mg/m^{3}およびずり積み時3.11 mg/m^{3}と高い値となっていた。

すなわち，吹付け作業時に最も粉じん濃度が高くなる現場が多く，ガイドラインで示された種々の対策のうち，粉じん目標濃度を達成するための具体的な粉じんを低減する吹付け技術および集じん技術が求められていることがわかった。

(2) 吹付け作業時の粉じん対策技術

坑内作業時に発生する粉じん量，粉じん発生の要因および対応方法としては**表-1.1.1**に示すように考えられる。そして，吹付け作業時の対応方法としては，次のようなものがある。

1) 大量の搬送エアによるコンクリートの分散・飛散への対応技術
   - 回転力による吹付け，液体急結剤を用いた吹付け方法であり，使用するエア量を少なくした技術がある。
   - 粉じん低減剤やシリカフュームまたはフライアッシュを混和材料として，あるいは石炭灰[3)]や石灰石微粉末等を細骨材の一部と置換して，吹付けコンクリートの粘性を高める技術である。さらに，練混ぜをSEC仕様として吹付けコンクリートの粘性を高める技術がある。
2) 粉体急結剤の飛散への対応技術
   - 液体急結剤やスラリー急結剤など粉体以外の急結剤を使用する技術である。
3) 希釈・集じんによる発生した粉じんへの対応技術
   - 大型送風機や大型集じん機により発生した粉じんの希釈あるいは除去を行う方法であり，一般的な対策技術である。しかしながら，トンネル断面の制限や切羽作業への支

障等により風管先端位置の制限や大型集じん機が切羽に近づけて設置できないなどの制約があるため，近年局所集じんシステムや伸縮風管システムなどによる効率的な集じん方法が試行されている。

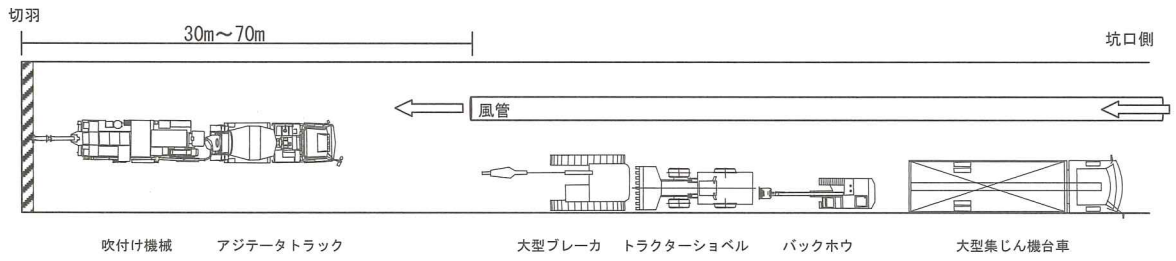
4) その他

- マスク内を陽圧として，マスク内への粉じんの侵入を防ぐ電動ファン付き呼吸用保護具により，集じん機等で捕集できない浮遊粉じんの人体への吸入防止を図る技術であり，坑内作業全般に通じる対応技術で，近年急速に普及しつつある。

なお，吹付け以外の方法として，ベルト型枠等の型枠内にコンクリートを塗り付ける方法[4]や切羽前方にスリット状のアーチシェル構造体を構築するプレライニング工法により一次覆工として吹付けを用いない技術がある。前者は極めて良好な地質条件の場合であり，後者は土被りの浅い未固結地山の場合に適用されるなど特殊な条件に限定され，いずれも粉じん低減対策として通常用いられるものではない。

(3) 研究対象とする対策技術

トンネル工事における吹付け作業時の一般的な坑内機械配置の例を**図－1.1.1** に示す。切羽では吹付け機械とアジテータトラックで吹付けが行われ，風管の先端は切羽から 30m～70m 付近にあり，さらに後方に大型集じん機が配置されることが多い。**写真－1.1.1** および**写真－1.1.2** に模擬トンネルでの状況を示す。



図－1.1.1　一般的な吹付け作業時の坑内切羽付近の機械配置の例



写真－1.1.1　切羽付近の機械配置例
（吹付け機械とアジテータトラック：模擬トンネルにて）



写真－1.1.2　切羽後方の大型集じん機の配置例
（天井部には風管：模擬トンネルにて）

このような坑内での機械配置状況を考慮すると，粉じん対策としては，粉じんの発生量を少なくする方法，希釈する方法，除去する方法およびこれらの組合せによる方法が考えられる。

しかしながら，一般的な粉体急結剤の配合による模擬トンネルでの吹付け実験によると，希釈する方法のみでガイドラインの目標濃度以下とするためには，風量 1500m³/min を超える送風機が必要であること，これに伴い処理風量 1800m³/min 以上の大型集じん機が必要となることがわかった。

そして，このような大風量の換気設備は，トンネル断面の制約および経済性などの点で課題となるため，粉じんの発生量を少なくする方法および効率的に除去する方法が望ましいと考えられる。

そこで，本研究では前記(2)の対策技術のうち，粉じんの発生量を少なくする方法および効率的に除去する方法に着目し，下記の技術について延長 100m の模擬トンネルでの吹付け試験や現場試験施工などで確認することとした。

- 粉じん低減剤による方法
- スラリー急結剤による方法
- 液体急結剤による方法
- ＳＥＣによる方法
- 高品質吹付けコンクリートによる方法
- ダストレス吹付け機械による方法
- エアレス吹付け機械による方法
- 局所集じんシステムによる方法
- 伸縮風管システムによる方法

表－1.1.1　粉じん発生要因とその対応方法

作業内容	発生粉じん量	粉じん発生の要因	対応方法	
削　孔	地山状況による	地山表面・ボアホール内からのクリ粉の飛散	クリ粉の捕集	局所集じん機付き削岩機
発　破	地山状況による	掘削地山の飛散	発破以外の方法	静的破砕剤，割岩工法
ずり積み ずり出し	多い	積込み（ずりのすくい・ダンプへの積載）に伴う掘削地山の飛散		散水
		積込みに伴う路盤粉じんの巻上げ		散水
		走行に伴う路盤粉じんの巻上げ	車両以外による搬出	連続コンベアによるずり搬出
		走行時落下ずりによる粉じん飛散		散水
機械掘削・こそく	地山状況による	機械掘削・こそくに伴う掘削地山粉じんの飛散		局所集じん機付き削岩機，散水
吹付けコンクリート	多い	大量の搬送エアによるコンクリートの分散・飛散	使用エア量の削減	**回転力を用いた吹付け，液体急結剤**
			分離しにくいコンクリートの使用	**粘性を高めた吹付けコンクリート**
				粉じん低減剤などの使用
		吹付開始時や終了時の粉体急結剤の飛散	粉体以外の急結剤の使用	**液体急結剤，スラリー急結剤**
		粉体急結剤補充時の急結剤の飛散	粉体急結剤の梱包方法・補充方法の改良	
			粉体以外の急結剤の使用	**液体急結剤**
		吹付けることによる粉じん発生	吹付け以外の方法の採用	型枠等を用いたライニング手法
				プレライニング工法
			効率的な集じん方法	**局所集じんシステム** **伸縮風管システム**
ロックボルト	地山状況による	クリ粉の飛散	クリ粉の捕集	局所集じん機付き削岩機
		ドライモルタル開封時の材料飛散	モルタル材料の梱包方法の改良	
覆　工	少ない	アジテータトラック走行による粉じんの発生	排ガスの浄化	浄化装置付き重機の使用

（続き）

作業内容	発生粉じん量	粉じん発生の要因	対応方法	
雑工	少ない	エア清掃時の粉じん巻上げ		散水
		集じん機メンテナンス時の粉じん飛散		湿式又は吸引式清掃機
重機の使用	重機の状態による	重機による油煙・煤煙	排ガスの浄化 各種油圧装置の密閉化	浄化装置付き重機の使用 自動化，ロボット化
全般		捕集できない浮遊粉じん	換気設備	小型大風量換気設備
			集じん	大容量小型集じん機
			注意の喚起	自動濃度表示装置
			粉じん暴露防止	操作室の密閉化
			人体の吸入防止	防じんマスク，電動ファン付き呼吸用保護具等有効な呼吸用保護具

1.2 研究内容

研究期間は，平成14年6月1日～平成17年3月31日である。研究対象とした技術は前述のとおりであり，**表－1.2.1** のようにまとめられる。そして，ガイドラインの粉じん目標レベルの達成ができる技術であることを確認した。

表－1.2.1 研究対象とした技術一覧

大分類	小分類	技術の概要
吹付け材料の改良等による低減技術	粉じん低減剤	粉じん低減剤を添加したベースコンクリートに粉体急結剤を添加して，粉じんの発生を低減する方法
	スラリー急結剤	粉体急結剤をスラリー状にしてベースコンクリートに添加し，粉じんの発生を低減する方法
	液体急結剤	ベースコンクリートに液体急結剤を添加して，粉じんの発生を低減する方法
	ＳＥＣ	ＳＥＣ（分割練混ぜ）により製造したベースコンクリートに粉体急結剤を添加して，粉じんの発生を低減する方法
	高品質吹付けコンクリート	シリカヒュームや石灰石微粉末を加えたベースコンクリートに粉体急結剤を添加して，粉じんの発生を低減する方法
吹付け機械による低減技術	ダストレス吹付け機械	ほぐしエアを用いずにベースコンクリートに粉体急結剤を添加して回転力で吹付け，粉じんの発生を低減する方法
	エアレス吹付け機械	ほぐしエアを用いずにベースコンクリートに液体急結剤を添加して回転力で吹付け，粉じんを抑制する方法，または，粉体急結剤をスラリー状にしてベースコンクリートに添加し回転力で吹付け，粉じんの発生を低減する方法
集じん技術	局所集じんシステム	小型の局所集じん機を切羽付近に配置して粉じんを除去する方法
	伸縮風管システム	大型集じん機から伸縮風管を切羽付近まで伸ばして粉じんを除去する方法

(1) 対策技術の適用範囲

本研究は，ガイドラインで示された粉じん障害防止対策のうち，切羽後方50m地点での吹付け作業時の粉じん濃度目標レベルを達成するために，粉じんの発生を低減する対策技術および換気・集じん対策技術（前掲**表－1.2.1**）について行ったものである。

トンネルを建設する工法としては，山岳トンネル工法の他，開削トンネル工法，沈埋トンネル工法，シールドトンネル工法などがある。

山岳トンネル工法は，一般に地山を掘削したのち，吹付けコンクリート・ロックボルト・鋼アーチ支保工・覆工等により地山を支持してトンネルを建設する工法であり，吹付けコンクリート作業が不可欠となっている。なお，支保構造部材として矢板類を併用した鋼アーチ支保工を用いる工法は矢板工法といわれ，通常吹付けコンクリート作業を伴わないため，本研究では対象とし

ないこととした。

①対策技術の適用断面について：　国内では，内空幅 8.5～12.5m 程度（掘削断面は 50～90m^2 程度で盤下げ断面を除く）をトンネル標準断面とする工事が多い。また，山岳トンネル工法におけるずり搬出方法はタイヤ方式とレール方式などに大別され，タイヤ方式が一般的である。レール方式は，比較的小さな断面や加背を分割して掘削する場合など，特殊な条件のトンネルで用いられる方式であり，吹付け機械も軌道車に搭載するなど，吹付け作業にも特殊な条件が加わる。

そこで，山岳トンネル工法でずり搬出方法をタイヤ方式とする補助ベンチ付全断面工法または上部半断面（ショートベンチカット）工法で掘削するトンネルを念頭に，掘削断面が 50～90m^2 程度のトンネルを対象とすることとした。

なお，掘削断面が 90m^2 以上の大断面トンネルへの適用についても，基本的な条件が共通するものであり準用できる点が多い。ただし，換気量の算定式が異なる場合があること等に留意する必要がある。

②対策技術が対象とする粉じん粒径について：　ずい道建設工事に伴って発生する粉じんは，作業効率を低下させるばかりではなく，作業員が長年にわたって吸込むと，じん肺にかかるおそれがある。

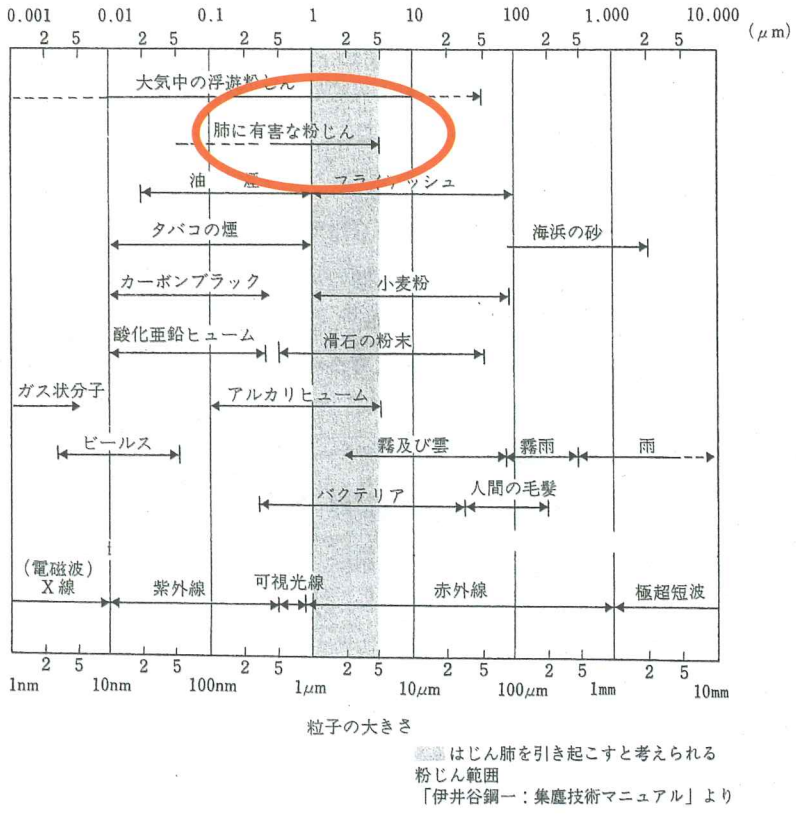
空気中に浮遊している粉じんの大きさは様々であり，**図－1.2.1** に示すようにその大きさには幅がある。

呼吸で吸い込まれた空気は，鼻，口から咽喉部，気管，気管支部を通り分岐を繰り返し，酸素と二酸化炭素を交換する肺細胞に至る（**図－1.2.2**）。人間が吸込む空気中の粉じんは，まず大きなものが鼻で引っかかって取り除かれ，次に，鼻を通過した粉じんは，気管支に入ってくる。気管支には，鼻腔から気管支までの気道に細かい毛（せん毛）があり，せん毛運動によって気管支に入ったホコリを吐き出す機能を持っている。しかし，せん毛運動で気管支に入ってきた粉じんが全部吐き出されるわけではなく，気管支を通過した粉じんは，袋のような形をしている肺胞や細気管支にたまってじん肺の原因になる。

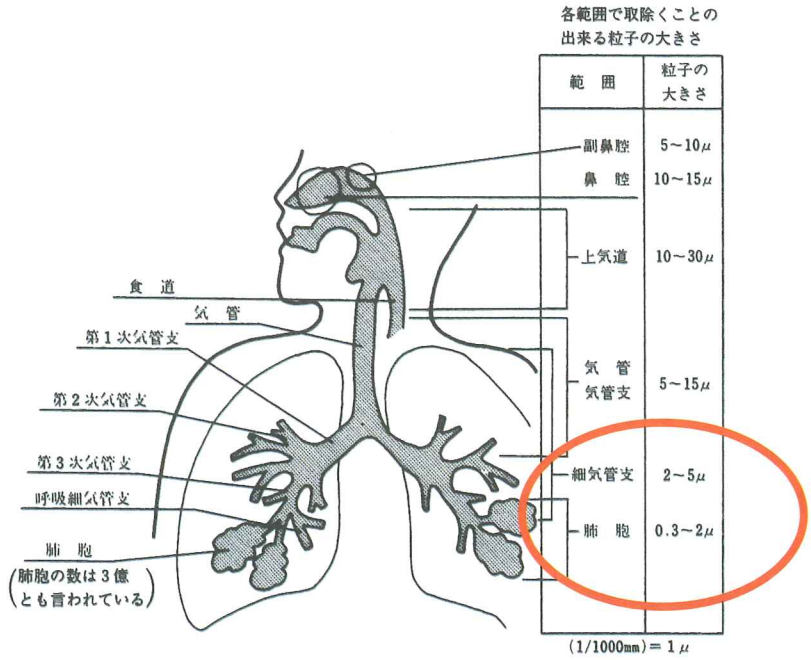
鉱物性粉じんによって引き起こされるじん肺症は吸入性の粉じんと言われる 7.07μm[5]以下の粉じんが原因といわれている。これはこれより大きな粒子は消化管に移動して無害であるのに対して，肺胞内部でマクロファージに食べられた小さな粒子のみがじん肺を引き起こすからであり，じん肺を引き起こすと考えられる粉じんは 1～5μm の大きさの粉じんといわれている[6]。

そこで，研究では山岳トンネル工法における各作業のうち，吹付けコンクリートの吹付け作業時に適用することから，対象とする粉じん粒径範囲の下限はじん肺を引き起こすと考えられている 1μm とし，上限は吸入性粉じんの定義で規定されている 7.07μm とした。すなわち，吹付けのみにより発生する粒径 1.0～7.07μm の吸入性粉じんを適用範囲とするものであり，重機の稼動による排気ガスや掘削ズリ等による浮遊粉じんについては対象としないこととした。

なお，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，**表－1.2.2** のような具体的な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。



図－1.2.1　粉じん粒子の大きさ [7] なお，一部修正



図－1.2.2　呼吸器系と各範囲で取り除くことのできる粒子の大きさ [8]

表－1.2.2　ガイドラインで規定された粉じん対策

①　粉じん対策に係る計画の策定
②　粉じんの発生源に係る措置
③　換気装置等による換気の実施等
④　換気の実施等の効果を確認するための粉じん濃度等の測定
⑤　防じんマスク等有効な呼吸用保護具の使用
⑥　労働衛生教育の実施
⑦　粉じん濃度目標レベル(3mg/m^3)の設定
⑧　空気清浄機能付き休憩室の設置

この中で，⑦の粉じん濃度の測定についてはそれまで濃度の目標値がなかったが，このガイドラインで初めて3mg/m^{3}の目標値が示された。また，測定方法についても具体的に示され，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。

その後，このガイドラインに呼応して，以下の改訂等が行われた。

- 「トンネル工事の粉じん発生作業に関する衛生管理マニュアル」(国土交通省，平成13年2月)
- 「土木工事安全施工技術指針」(国土交通大臣官房技術審議官通達，平成13年3月29日)
- 「ずい道等建設工事における換気技術指針≪設計及び粉じん等の測定≫」(建設業労働災害防止協会，平成14年3月)

本報告書は，これらのガイドラインおよびマニュアル等の粉じん対策のうち，吹付けコンクリート作業時の粉じん濃度の低減方法を具体的に記述したものである。

(2)　用語の定義

本報告書では，次のように用語を定義する。

吸入性粉じん：次式に示す分粒特性を有する分粒装置を通過した粉じんのことをいう[9]。

$$P = 1 - \frac{D^2}{D_0^2} \qquad (D \leqq D_0) \qquad P = 0 \quad (D > D_0)$$

ここで，P　：透過率

D　：粉じん相対沈降径（μm）

D_0：7.07μm

粉体急結剤：JSCE-D 102[10]に適合する急結剤のうち粉体状のものをいう。

粉じん低減剤：セルロース系またはアクリルアミド系等の高分子化合物を主成分とし，その凝集作用または増粘効果により粉じんを低減する混和剤をいう[11]。なお，粉じん抑制剤ともいわれる場合もあるが，本報告書では粉じん低減剤という。

スラリー急結剤：スラリー専用の粉末状の急結剤であってJSCE-D 102に適合しているセメント鉱物系粉体急結剤と水を専用装置（スラリー化ノズル）により連続的にスラリー化した急結剤を

いう。

スラリーショットシステム：スラリー急結剤を使用する吹付けにおいて，セメント鉱物系粉体急結剤を，スラリー化水により連続的にスラリー化して吹付けるシステムをいう。

液体急結剤：JSCE-D 102 に適合する急結剤のうち液体状のものをいう。

SEC：Sand Enveloped with Cement の略で，セメントペーストで造殻された砂を意味し，骨材をセメントペーストで造殻するために，所定の水量を 2 回に分けて分割練りする方法をいう。

局所集じん：吹付けにより発生する粉じんを拡散前に発生場所である切羽近傍で集じんすることをいう。

分岐風管：送風管の先端部に取付け，切羽方向とトンネル断面方向に風量を分岐させる風管をいう。

伸縮風管：発生粉じんを発生源に近い場所で捕集するために，伸縮させることのできる風管をいう。

高性能減水剤：界面活性作用でセメントを分散させる効果をもつ混和剤をいう。

急結剤添加率：添加した急結剤の単位セメント量に対する質量百分率をいう。

急結助剤：ベースコンクリートの可塑性を高める効果をもつ水溶性高分子からなる粉体の混和剤をいう。

はね返り：吹付けコンクリートの施工に際して，吹付け機械のノズルから出て吹付け面に留まらずに離脱するもの，および，吹付け面に到達せず直下に落下するものをいう[12)]。

インペラ：回転力方式の吹付け機械に装備される高速で回転する羽根車をいう。

ほぐしエア：コンクリートポンプ搭載型吹付け機械で使用する主にコンクリートの圧送に用いる圧縮空気をいう。

1.3 研究体制

表－1.3.1 に共同研究担当者名簿を示す。

表－1.3.1 共同研究担当者名簿

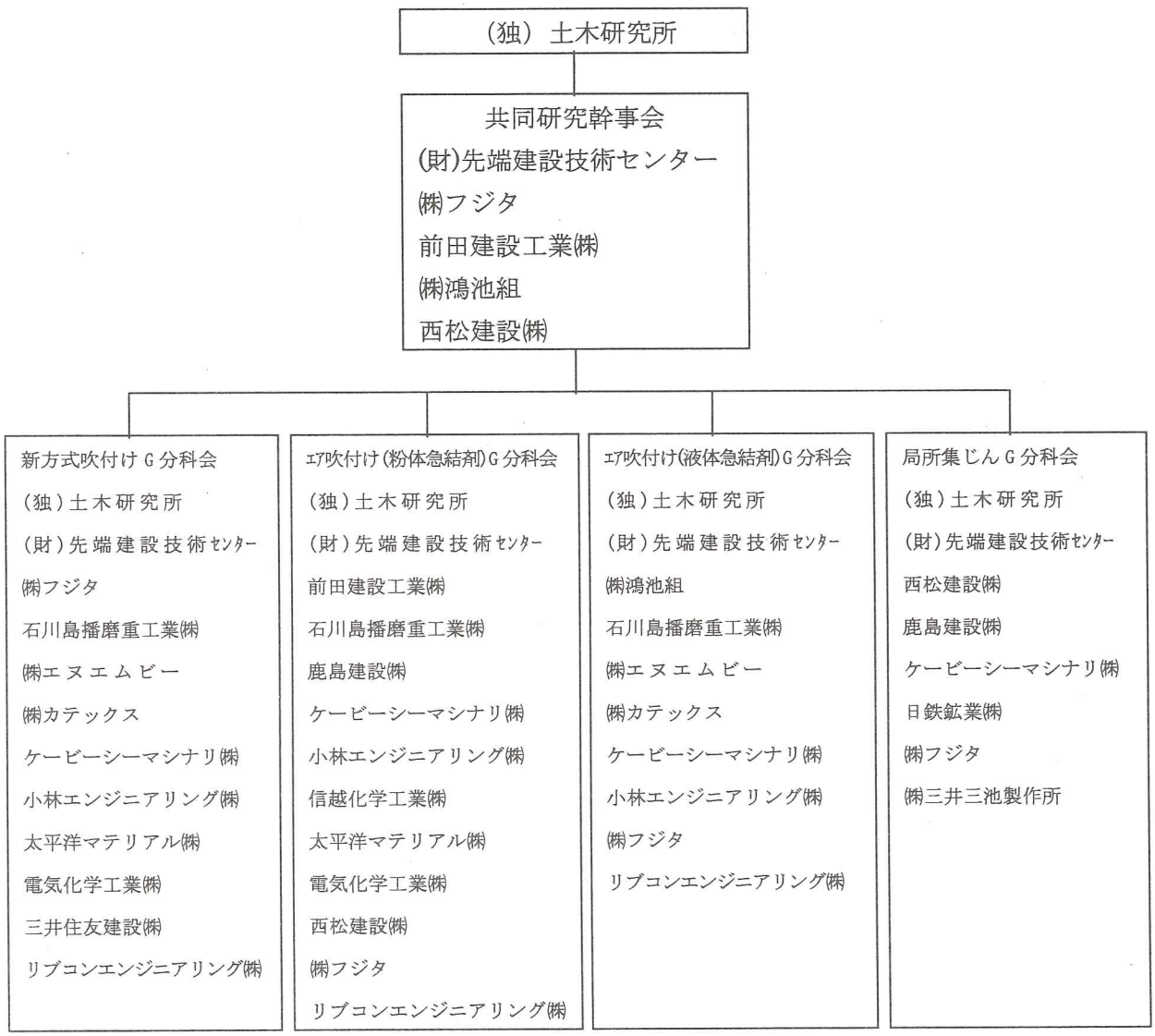
所 属 名	氏 名	役 職 名
独立行政法人土木研究所	大下 武志	技術推進本部（施工技術）主席研究員
	小野寺誠一	技術推進本部（施工技術）主任研究員
	波田 光敬	技術推進本部（施工技術）主任研究員
	井谷 雅司	技術推進本部（施工技術）研究員
	石原 雅規	(元)技術推進本部（施工技術）研究員
	尾花誠太郎	技術推進本部（施工技術）交流研究員
	眞岸 徹	(元)技術推進本部（施工技術）交流研究員
	真下 英人	基礎道路技術研究グループ（トンネル）上席研究員
	石村 利明	基礎道路技術研究グループ（トンネル）主任研究員
財団法人先端建設技術ｾﾝﾀｰ	水谷 敏則	専務理事
	西田 穂積	常任参与兼企画部長
	横田 穣二	(元)常任参与兼企画部長
	堀内喜久雄	企画部次長
	空木 昭弘	企画部参事
	神田 勇二	(元)企画部参事
	塙 信之	(元)企画部参事
	佐藤 洋一	(元)企画部参事
石川島播磨重工業株式会社	森安 宏	理事
	田沢雄二郎	技術開発本部技師長
	鈴木 宏	物流・鉄構事業本部事業開発部製品開発グループ
株式会社エヌエムビー	清水 哲史	中央研究所開発第二グループ主任研究員
	市毛 将弘	ＵＧＣ営業部
	勝畑 敏幸	技術管理部
鹿島建設株式会社	阿部 裕	技術研究所副所長
	伊藤 範行	土木管理本部土木工務部グループ長
	大野 俊夫	技術研究所土木構造グループ上席研究員
	佐藤 政昭	機械部技術グループ部長

鹿島建設株式会社	西野　達也	機械部技術グループ課長
	松枝浩太郎	横浜支店　管理部　課長
	小池　健生	土木管理本部　土木工務部　課長代理
	本田　智昭	技術研究所　土木構造グループ
	小磯　治男	機械技術センター
	羽田　勝明	機械技術センター
株式会社カテックス	粕谷　忠則	建設資材事業部事業推進部長
	市川　健作	株式会社カテックス建設資材事業部技術営業部長
ケービーシーマシナリ株式会社	嵯峨　豊	営業本部営業管理部営業支援チーム係長
	日下部正樹	営業本部機械管理部石狩工場
	藤田　靖延	営業本部機械管理部石狩工場
	田中　勝幸	(元)技術本部エンジニアリングチーム
株式会社鴻池組	川添　純雄	海外事業部工事部長
	坂口　武	大阪本店土木技術部山岳トンネル担当部長
	川上　正史	(元)技術研究所主席研究員
	岩田　文吾	海外事業部主任
	坂口　和雅	大阪本店土木技術部主任
	為石　昌宏	大阪本店土木技術部主任
	若林　宏彰	西乙原トンネル工事係員
小林エンジニアリング株式会社	加藤　幸男	代表取締役社長
信越化学工業株式会社	早川　和良	有機合成事業部セルロース部建設材料分野部長
	巨畠　敏行	有機合成事業部セルロース部担当部長
太平洋マテリアル株式会社	高野　幸男	常務取締役
	石川　雄康	開発研究所建設技術Ｇリーダー
	大谷　真生	開発研究所建設技術Ｇサブリーダー
	杉山　彰徳	開発研究所建設技術Ｇサブリーダー
	中島　裕	開発研究所基盤研究Ｇサブリーダー
	茂浦口　剛	開発研究所建設技術Ｇ研究員
	山本　盛男	開発研究所建設技術Ｇ研究員
	玉森　俊裕	営業本部高機能建材営業部課長代理

太平洋マテリアル株式会社	岡元　卓也	東京支店土木資材営業部部長代理
	井上　　哲	東京支店土木資材営業部課長
	小沼　孝仁	東京支店土木資材営業部
	副田　孝一	小野田工場　工場長
	小野　英明	小野田工場製造部
電気化学工業株式会社	宇田川秀行	青海工場無機材料研究センター長
	石田　　積	青海工場無機材料研究センター主任研究員
	寺島　　勲	青海工場無機材料研究センターリーダー
	岩崎　昌浩	青海工場無機材料研究センター研究員
	中島　康宏	青海工場無機材料研究センター研究員
	小林　智仁	青海工場無機材料研究センター研究員
	室川　貴光	青海工場無機材料研究センター研究員
	疋田　陽一	特混町田研究センター研究員
	五味　秀明	特殊混和材事業部　特混技術部長
	小菅　啓一	特殊混和材事業部　特混第二課
	片山　康人	特殊混和材事業部　特混第二課
	田中　　敦	特殊混和材事業部　特混第二課
西松建設株式会社	近藤　操可	技術研究所技術研究部長
	年見　剛輔	技術研究所技術研究部機電技術研究課長
	木村　哲	技術研究所技術研究部長
	佐藤　幸三	技術研究所技術研究部土木技術研究課副課長
	松浦　誠司	技術研究所技術研究部土木技術研究課係長
	万代　智也	技術研究所技術研究部機電技術研究課主任
	前　　啓一	横浜支店愛川トンネル出張所主任
	佐々木亮治	技術研究所技術研究部環境技術研究課主任
	椎名　貴快	技術研究所技術研究部土木技術研究課主任
	高橋　高夫	技術研究所
	小林　利雄	技術研究所
	坂本　正道	技術研究所
	根津　典男	技術研究所
日鉄鉱業株式会社	野納　敏展	機械・環境営業部長

日鉄鉱業株式会社	村上　宏	機械・環境営業部　機械営業課長
	今井　弘信	機械・環境営業部　機械営業課　課長代理
	梨本　俊行	機械・環境営業部　野木工場長
株式会社フジタ	岡野　幹雄	技術センター土木研究部長
	和気　輝幸	土木本部トンネル・シールド部長
	斉藤　悦郎	土木本部営業部長
	土屋　敏郎	広島支店土木部主席コンサルタント
	野間　達也	技術センター土木研究部部長
	鈴木　裕一	技術センター土木研究部主任研究員
	平野　勝識	技術センター土木研究部主任研究員
	藤倉　裕介	技術センター土木研究部研究員
	三河内永康	土木本部トンネル・シールド部担当課長
	竹田　裕二	土木本部トンネル・シールド部担当課長
前田建設工業株式会社	横沢　和夫	執行役員 技術本部副本部長兼技術研究所長
	赤坂　雄司	技術本部技術研究所技術開発土木グループ副部長
	福山　雅典	技術本部技術研究所技術開発土木グループ 主任
	南　浩輔	北陸支店氷見トンネル作業所
	米田　大樹	技術本部技術研究所技術開発土木グループ研究員
三井住友建設株式会社	魚住　雅孝	技術研究所生産システム担当部長
	長野　祐司	技術研究所生産システム室長
	清水　安雄	技術研究所主任研究員
	丸山信一郎	技術研究所研究員
株式会社三井三池製作所	有田　豊	産業機械事業本部流体機械部設計グループリーダー
	寺尾　崇	産業機械事業本部流体機械部設計グループ
	江口　浩司	産業機械事業本部流体機械部設計グループ
	中嶋　正和	産業機械事業本部流体機械部営業グループ
リブコンエンジニアリング株式会社	櫻井　清一	代表取締役社長
	田村　忠昭	取締役
	伊藤　祐二	技術顧問
	門倉　智	試験研究所所長
	鈴木　広也	研究員

研究は，図－1.3.1 に示す体制で実施した。



図－1.3.1　研究体制

＜参考文献＞

1) 国土交通省「トンネル工事の粉じん発生作業に関する衛生管理マニュアル」, 平成 13 年 2 月

2) 建設業労働災害防止協会「改訂ずい道等建設工事における換気技術指針≪設計及び粉じん等の測定≫」, p. 55, 平成 14 年 3 月 12 日

3) 佐野ほか「石炭灰を利用したトンネル用吹付けコンクリートの施工事例」, 基礎工 vol. 32, No. 7, pp. 66-pp. 70, 2004. 7, (株) 総合土木研究所

4) 分部ほか「吹付けコンクリートにかわる新工法の試験施工　伊勢自動車道多気トンネル」トンネルと地下, pp. 47-pp. 57, 1998. 9, ㈱土木工学社

5) 労働省安全衛生部環境改善室編「作業環境測定ガイドブック鉱物性粉じん関係」, p. 5, 平成 10 年 6 月, (社) 日本作業環境測定協会

6) 前掲 2), p. 53

7) 前掲 2), p. 54

8) 建設業労働災害防止協会「建設業における粉じんによる疾病の防止」, p. 6, 平成 16 年 3 月 10 日

9) 前掲 2), p. 8

10) (社) 土木学会「2002 年制定コンクリート標準示方書」, p. 358, 平成 14 年 5 月

11) 森藤「現場技術者のための吹付けコンクリート・ロックボルトQ&A」, p. 67, 平成 15 年 3 月, (社) 日本トンネル技術協会

12) 山口「トンネルの吹付けコンクリート」, p. 170, 平成 8 年 2 月, (社) 日本トンネル技術協会

2. 対策技術と吹付けコンクリートの配合

2.1 対策技術の選定

吹付け作業にあたっては，粉じん対策技術を適切に選定し，ガイドラインに示された粉じん濃度目標レベル以下となるよう努めなければならない。

ガイドラインでは，前掲**表－1.2.2** のとおり粉じん対策が示されている。したがって，吹付け作業にあたっても，これらの対策を実施することが適切であると考える。特に，同表のガイドラインに示された粉じん濃度目標レベル以下となるように，粉じんの発生源に係る技術を適切に選定し，換気装置等による換気を実施することが重要である。

すなわち，具体的な対応方法としては前掲**表－1.1.1** に掲げる種々の方法があるが，本報告書では，前述（1.1の（3)参照）した下記(1)の技術から現場条件等を考慮して適切に対策技術を選定し，その技術に対応する所要換気量の換気を実施することを前提として，吹付け作業時の粉じん濃度をガイドラインに示された粉じん濃度目標レベル 3mg/m³以下とする方法について記述したものであり，その他の方法等については他の指針類を参照されたい。

(1) 対策技術

1) 吹付け材料の改良等による発生低減技術

吹付けコンクリート材料の改良等により粉じんの発生を低減する技術である。

① 粉じん低減剤による方法

エア圧送式の湿式吹付け機械による吹付け方法であるが，粉じん低減剤をベースコンクリートに少量添加して練り混ぜることにより，粉じんの発生を低減するものである（詳細は3.2.1参照)。湿式用の粉じん低減剤の主成分はセルロース系の水溶性高分子であり，水に溶解してセメントペーストの粘性を高める性質があるため，通常の吹付けコンクリートに少量添加することにより，吹付け時にコンクリートからセメントペーストや細骨材微粒分等の分離が少なくなり，粉じんの発生を低減する。

② スラリー急結剤による方法

エア圧送式の湿式吹付け機械による吹付け方法で，使用する急結剤は専用の粉体急結剤を用いるが，主成分は従来の粉体急結剤と同一であり，初期の急結性と強度発現性に優れる。急結剤をコンクリートに混合する直前で専用の装置（スラリー化ノズル）により連続的にスラリー化して添加するため，混合性が向上し，発生粉じん量を低減できる。また，飛散した場合にも急結剤がスラリー状であるため浮遊時間が短く，早く沈降する。

ベースコンクリートには，水溶性高分子からなる粉体の混和剤（急結助剤）を添加するが，ベースコンクリートのワーカビリティーは大きく変わらない。吹付けには，専用のシステム（スラリーショットシステム）を使用する。このスラリーショットシステムは，粉体急結剤の添加率を変えるとその変化に連動してスラリー水の添加率も変わり，常に同じスラリー濃度を確保できる（詳細は3.2.2参照)。

③ 液体急結剤による方法

湿式吹付け方式をポンプ圧送で行う場合，ノズル元までエアを使用しないため，

エア使用量を少なくすることができ，また，液体急結剤はベースコンクリートとの混合性に優れ，混合されない急結剤のみが空気中に放出されることを最小限に抑えることができるため，粉じんの発生を低減できる（詳細は3.2.3参照）。

液体急結剤に含まれる水分を考慮して，ベースコンクリートは単位セメント量を多く配合し，高性能減水剤を使用する。

なお，液体急結剤は弱酸性であるため，人体や環境にやさしく，液体急結剤を使用した吹付けコンクリートは長期強度や耐久性に優れるという特徴がある。

④　ＳＥＣによる方法

エア圧送式の湿式吹付け機械による吹付け方法であるが，SEC により製造したベースコンクリートに粉体急結剤を添加して，粉じんを低減するものである。

SEC とは，コンクリートの製造時において練混ぜ水を分割投入することにより，細骨材の周囲が低水セメント比のセメントペーストによって覆われたコンクリートとする練混ぜ方法である（詳細は3.2.4参照）。この方法で製造されたコンクリートは，全材料を一括投入して練り混ぜるコンクリートに比べ，ブリーディングが抑制され，ポンプ圧送性，強度特性が向上する。

⑤　高品質吹付けコンクリートによる方法。

エア圧送式の湿式吹付け機械による吹付け方法であるが，シリカフュームや石灰石微粉末を加えたベースコンクリートに粉体急結剤を添加して，粉じんを低減するものである（詳細は3.2.5参照）。

ベースコンクリートの粘性がはね返りや粉じん発生量および品質に大きな影響を与えていることに着目し，単位水量を一定にしてシリカフュームと石灰石微粉末を加えることで，ベースコンクリートの粘性を高め，はね返り等を改善するものである。

未固結地山では切羽を分割施工して掘削する場合がある。このようなトンネル工事での吹付けには，切羽が多数並列するため，発生低減技術による対策が有利と考える。

一方，長いトンネルではコンクリートの運搬時間が長くなり，ベースコンクリートのスランプロスが問題となる場合がある。この対策として，一般にベースコンクリートの単位水量を大きくして練り上がりスランプを調整し，切羽到着時に所要のスランプを確保する方法が採られるが，過度な単位水量の調整は，ベースコンクリートの圧送性や吹付けコンクリートの付着性，強度発現を損なう場合があるため注意が必要である。また，湧水が多い場合には，付着が悪くなるため急結剤の添加率を増やすなどの対策が必要である。

なお，通常の吹付けコンクリートでは設計基準強度 $\sigma_{28}=18N/mm^2$ を標準としているが，膨張性地山や大きな断層破砕帯などの擾乱帯が事前に想定される場合には，高強度吹付けコンクリート配合にも対応できることが望まれる。

2)　吹付け機械の改良による発生低減技術

主に吹付け機械の改良により粉じん発生量を低減する技術である。

⑥　ダストレス吹付け機械で吹付ける方法。

エア圧送式の湿式吹付け機械のような空気圧縮機を使用せず，ブーム先端部に回転装置を搭載した吹付け機械による吹付け方法であり，ほぐしエアを用いずに，ベ

ースコンクリートに粉体急結剤を添加して機械的に混合撹拌して，回転力で吹付け，粉じん発生量を低減するものである（詳細は 3.2.6 参照）。

⑦　スラリー急結剤または液体急結剤を添加してエアレス吹付け機械で吹付ける方法

ブーム先端部に回転装置を搭載した吹付け機械による吹付け方法であり，ほぐしエアを用いずに，ベースコンクリートにスラリー急結剤または液体急結剤を添加して回転力で吹付け，粉じん発生量を低減するものである（詳細は 3.2.7 および 3.2.8 参照）。

なお，土砂地山では切羽の核を残して掘削するリングカット工法や切羽が自立しない場合には掘削しながら吹付け作業を行う同時併行となる場合がある。このような切羽状況が想定される場合には，吹付け機械の選定に留意する必要がある。

3)　集じん技術の改良による除去

発生した粉じんを効率的に集じん除去するものである。

⑧　局所集じんシステムによる方法

小型トラック等に積載した局所集じん機を吹付け機械の横に設置し集じんを行うものである。さらに，集じんエリアからの粉じん拡散防止の技術としてエアカーテンを効率的に用いる。また，切羽への送風量を減らすために分岐風管を用いる（詳細は 3.2.9 参照）。

⑨　伸縮風管システムによる方法

坑内に設置する大型集じん機に取付けられた伸縮風管の吸引口を切羽近くまで移動して集じんするものである。あらかじめ伸縮風管用のレールを天井部に吊り下げ，風管先端の走行用モータを遠隔操作により操作し，自在に伸縮できる。これにより吹付け作業時には吸引口を切羽に近づけ，発破・重機作業時には切羽より退避できる。掘進の進行にも追従し，常に切羽付近で発生粉じんを吸引できる。また，送風管先端に分岐風管を取付け，分岐風によりエアカーテンを形成して粉じんの後方への漏洩を防ぐものである（詳細は 3.2.10 参照）。

長大トンネルでは，ずり搬送をベルトコンベア方式とする場合があるが，この場合には後方設備のため，大型集じん機を切羽に接近して設置できないことがある。また，風管の延長が長くなり送風抵抗や漏風などのロスが大きくなる。このため，一般的に換気設備が大きくなり，大風量による希釈を図るよりも，集じん技術の改良が有利となる場合がある。

一方，トンネル掘削断面積が 60㎡程度以下の場合には，大口径の風管や局所集じん機を切羽付近に設置することが切羽作業の障害となる場合がある。

(2) 選定にあたっての留意点

前記(1)に示した各技術の選定にあたっては，粉じん低減効果，トンネル条件（湧水状況，地質等），使用する材料などを考慮した上，施工性，安全性，経済性等について検討を行い，試験吹付けを行ない決定するものとする。

なお，各技術の適用性については**表－2.1.1** を参考とし，単独技術だけでなく組合せも含めて検討する必要がある。また，経済性および施工性のおおよその目安を巻末（**参表－3.1.1**）に示す。

表－2.1.1　対策技術の粉じん低減効果とトンネル条件への適用性

対策技術		粉じん低減効果	トンネル条件			
		吹付け時の低減効果係数 α 注1)	断面積が60m²以下	湧　水	未固結地山	吹付け以外の作業時
吹付け材料の改良等による低減技術	①粉じん低減剤による方法	0.50～0.75	○	○	○	－
	②スラリー急結剤による方法	0.40～0.60	○	○	○	－
	③液体急結剤による方法	0.20～0.40	○	△	○	－
	④SECによる方法	0.60～0.75	○	○	○	－
	⑤高品質吹付けコンクリートによる方法	0.60～0.75	○	○	○	－
機械による低減技術	⑥ダストレス吹付け機械による方法	0.20～0.40	○	○	△ 注3)	－
	⑦エアレス吹付け機械による方法	0.20～0.40	○	使用する急結剤の種別により異なる	△ 注3)	－
集じん技術	⑧局所集じんシステムによる方法	0.50～0.75	△	○	△	○
	⑨伸縮風管システムによる方法	－ 注2)	○	○	○	○
凡　例		注 1)：後述する式(2-1)で定義されるものであり，値が小さいものほど換気量が少なくなる。 注 2)：この方法は効果があるが，換気量の算定には式(2-1)を適用できない。	△：切羽作業の支障となる場合がある。 ○：吹付け機械が設置できるスペースがあれば支障はない。	△：付着効果が低下するため急結剤の増量が必要である。 ○：粉体系の急結剤では，湧水の影響は少ない。	△：掘削と併行で吹付ける場合には，吹付け機械などが制限される。 ○：汎用機械の使用で対処できる。 注 3)：現時点では，掘削と併行で吹付けた実績がない	○：掘削作業時などにも適用できる。

(3) 所要換気量の算定

通常のトンネル工事における発生粉じんなどに対する所要換気量Qは，可燃性ガスなど特殊な条件を除き，一般的に次の式が使われる[1)]。

$Q = Q_p + Q_{max}$（下記のQ_1～Q_3の内，最大となるもの）

ここに，Q_1：発破による粉じんに対する換気量

Q_2：吹付け作業時に発生する粉じんに対する換気量

Q_3：ディーゼル機関から排出される有害ガスに対する換気量

Q_p：作業員の呼気による汚染対象ガスに対する換気量

そして，前記①～⑨の技術についてはQ_2に該当し，下記に示す式（2-1）で算定される。ただし，⑨の技術による場合には，後述するように式（2-2）を適用することとした。

なお，その他としては坑内作業員の快適さを考慮する場合がある。

1) 発破による粉じんに対する換気量Q_1

発破による粉じんに対する換気量Q_1は，次式による。

$$Q_1 = \frac{K \cdot S}{G_a \cdot t}$$

$$S = A_t \cdot \Delta\ell \cdot \beta \cdot x$$

ここに，Q_1：換気量（m^3/min）

A_t：トンネル掘削断面積（m^2）

$\Delta\ell$：１発破当りの掘進長（m）

β：単位火薬使用量（kg/m^3）

x：火薬1kgでの粉じん発生量（mg/kg）

K：換気係数

G_a：ガイドラインで示される粉じん濃度目標レベル（mg/m^3）

t：換気時間（min）

2) 吹付け作業時に発生する粉じんに対する換気量Q_2

伸縮風管を使用しない換気条件における吹付け作業時に，発生する粉じんに対する換気量Q_2は，次式によるものとする。なお，伸縮風管を使用した換気条件における吹付け作業時に発生する粉じんに対する換気量については，5)で述べる。

$$Q_2 = \alpha\ (90 \cdot A_t)\ / G_a \qquad \cdots\cdots\ (2\text{-}1)$$

ここに，Q_2：換気量（m^3/min）

α：粉じん発生量低減対策による低減効果係数であり，後述2.2で示される配合による。

なお，文献1)ではα＝0.5～1.0とされているが，模擬トンネルでの吹付け実験等により，0.5以下となる場合が確認された。

90：定数（$mg/min/m^2$）

A_t：トンネル掘削断面積（m^2）

G_a ：ガイドラインで示される粉じん濃度目標レベル（mg/m³）

なお，3車線断面等のその他のトンネル断面には式（2-1）を適用できない。

3) ディーゼル機関から排出される有害ガスに対する換気量Q_3

ディーゼル機関の排出ガスに対する換気量Q_3は，次式による。

$$Q_3 = (H_S \cdot q_S \cdot \alpha_S) + (H_D \cdot q_D \cdot \alpha_D) + (H_E \cdot q_E \cdot \alpha_E)$$

ここに，Q_3 ：換気量（m³/min）

H_S ：ショベル系の使用機械の総出力（kW）

H_D ：ダンプ系の使用機械の総出力（kW）

H_E ：その他機械の使用機械の総出力（kW）

q_S ：ショベル系の実出力当りの換気量（m³/min・kW）

q_D ：ダンプ系の実出力当りの換気量（m³/min・kW）

q_E ：その他機械の実出力当りの換気量（m³/min・kW）

α_S ：ショベル系の負荷率

α_D ：ダンプ系の負荷率

α_E ：その他機械の負荷率

4) 作業員の呼吸に対する換気量Q_p

作業員の呼吸に対する換気量Q_pは，次式による。

$$Q_p = q \times n$$

ここに，Q_p ：換気量（m³/min）

q ：作業員1人当りの換気量　（3.0m³/min）

n ：坑内作業員数

5) 伸縮風管と分岐風管を使用した吹付けの場合

伸縮風管システムは，坑口からの送風管の先端に分岐風管を取付け，分流して送風を行うとともに，大型集じん機に直結した伸縮風管を切羽近くまで伸ばして集じんを行う。

したがって，このシステムは従来の希釈方式とは異なり，トンネル内を「集じんエリア」と「換気エリア」に分けることにより，発生した粉じんを「集じんエリア」で確実に捕集・処理できるので，切羽後方では粉じん濃度が3mg/m³未満になる。従来は，切羽での吹付け作業時に排出される粉じんに対して計算してきたが，上記の理由によりこのシステムでの換気量は作業員の呼吸に対する換気量（Q_p）とディーゼル機関の排出ガスに対する換気量（Q_3）の合計として次式で算定する。

$$Q = Q_p + Q_3 \qquad \cdots\cdots \quad (2\text{-}2)$$

そして，集じん機の容量（Q_d）は次式で算定される。

$$Q_d = k \cdot Q \cdot (1/\eta_D) \quad (m^3/min)$$

ここに，k ：エアカーテンの効果係数（＝1.2）

η_D ：集じん効率（＝0.95）

6)　坑内作業員の快適さの考慮

上記 1)～5)は粉じん障害を防止するために必須の検討項目である。なお，必須ではないがその他として，坑内作業員の快適さを考慮する場合がある。

通常のトンネルでは坑内湿度が高く，温泉地帯のトンネルにおける地熱など特殊な条件を除いても，一般的に大型重機の排熱あるいは吹付けコンクリートなどの硬化熱による坑内温度の上昇により，作業員の体調および作業効率が低下することがある。このため，作業員にとって好ましい一定の風速を考慮する場合がある。ただし，風速と体感温度等の関係は，周囲の温度，湿度，服装，発汗など種々の現場条件により異なるため，好ましい風速は一概には定まらない。

ちなみに，国際トンネル協会の施工安全指針では，0.17～0.75m/s 以下の坑内風速を保守する必要があるとしている [2]。例としてトンネル掘削断面 90m² のトンネルでは，風速 0.17≒0.2m/s は 1080m³/min の送風量に相当する。

ここで，坑内風速は換気量が同じであっても，トンネル断面積により変わる。一方，式 (2-2) で算定される風量は坑内で稼動する重機の種類と台数で決まり，通常のトンネルでは，トンネル断面の大きさにあまり左右されず重機の種類と台数は共通する。**表－2.1.2** は発破工法によるトンネルでの式 (2-2) で算定される風量の算定例を示したものである。この表ではずり出し時が最大（Q_3＝1097m³/min＞1080m³/min）となり，0.2m/s 以上の風速を確保できることがわかる。

表－2.1.2　坑内作業別のディーゼル機関の排出ガスに対する換気量Q_3の試算例

作業区分	重機の種類と台数	算式＊	換気量 (m³/min)
①ずり出し時	ﾄﾗｸﾀｼｮﾍﾞﾙ 1 台＋ﾀﾞﾝﾌﾟ 3 台	＝473＋208×3	1097
②吹付け時	吹付け機械 1 台＋ｱｼﾞﾃｰﾀﾄﾗｯｸ 2 台	＝168＋102×2	372
③鋼アーチ支保工時	ﾄﾗｯｸ 1 台	＝63	63
④覆工時	ｺﾝｸﾘｰﾄﾎﾟﾝﾌﾟ車 1 台＋ｱｼﾞﾃｰﾀﾄﾗｯｸ 2 台	＝58＋102×2	262

脚注＊：各重機の 1 台当りの換気量は文献 3)を参考とした。

2.2　吹付けコンクリート配合の決定にあたっての基本事項

(1)　吹付けコンクリートの配合設計は，地山条件および使用目的に適合したものとしなければならない。

(2)　標準配合の決定にあたっては，理論的な妥当性を有する手法，実験等による検証がなされた適切な知見に基づいて行うものとする。なお，標準配合として，本節に示す配合を用いてよいものとする。

(1)について：　吹付けコンクリートは，掘削後ただちに地山に密着するように施工でき掘削断面の大きさ，形状に左右されず，容易に施工できることから [4]，山岳トンネル工法の支保部材となっている。また，吹付けコンクリートの作用効果については種々の効果があり，地山条件および使用目的を考慮して設計しなければならない。ただし，本報告書は，吹付けコンクリート作業時に発生する粉じん対策に主眼を置くものであり，その他の使用目的および地山条件との関係については，道路トンネル技術基準やコンクリート標準示方書等の他の指針類を参照されたい。

研究では，吹付けコンクリートに要求される性能は，次の 4 つとした。

① 設計基準強度 $\sigma_{28}=18N/mm^2$ を満たすこと[5]。

② 初期強度（材齢 24 時間）$5N/mm^2$ を満たすこと[6]。

③ 吹付け時の作業能力 10～$12m^3/h$ 程度を満たすこと。

④ 計画した換気設備での吹付け作業時粉じん濃度がガイドラインの目標濃度以下であること。

①および②については，通常のトンネルで支保部材として要求されるものである。

一方，作業能力は吹付け機械の吐出量と密接な関係にあり，吐出量の増大は，通常粉じんの発生源である吹付けコンクリートの単位時間当りの吹付量の増加に結びつくものであり，粉じん濃度と吐出量は関係すると考えられる。したがって，実際に多く使われている吐出量と同程度での吹付け作業において粉じん低減効果が発揮される必要がある。そこで，現在のところ，吹付け機械の吐出量は 10～$12m^3/h$ 程度として使用されている場合が多い[7] ことから③の性能が要求されることとした。

なお，①～④の性能を満たすことが確認された吹付けコンクリート配合を使用して，作業能力が $10m^3/h$ 以下となる吹付けの場合には，単位時間当りの吹付量が少ないことから，単位時間当りの発生粉じん量が減じることとなり，このような吹付けの場合にも適用できると考える。

ただし，通常 $12m^3/h$ 程度で使用している吹付け機械で，ほぐしエアを調整することなく $8m^3/h$ 程度として吹付け作業を行った場合には，ほぐしエア量が相対的に過大となり，多少粉じん濃度が高くなる場合[8] があることに留意されたい。

(2)について： 本節の 2.2.1～2.2.10 に示す各配合については，延長 100m の模擬トンネルでの試験や現場実証試験等を行い，上記の性能を有することを確認した。

なお，以下で示すはね返り率は，トンネル側壁，天端に一次吹付けを行った後，0.5～$1.0m^3$ 程度の吹付けを行い，シートの上に落下したはね返り材の質量を計量し，吹付けノズルから吐出した材料の質量との比[9] を表すものである。

2.2.1 粉じん低減剤を使用する場合の配合

粉じん低減剤を使用する吹付けコンクリートの配合は，下記を標準とする。

(1) 単位セメント量　360kg/m³

(2) 水セメント比　55～65%

(3) 粗骨材の最大寸法　15mm以下

(4) 急結剤

粉体急結剤で添加率は対セメント7.0質量%

(5) 粉じん低減剤

主成分はセルロース系水溶性高分子で湿式吹付け用の低減剤

添加率は対セメント0.08～0.15質量%

(1)について： $\sigma_{28}=18N/mm^2$ を目標とする場合には，標準の単位セメント量は $360kg/m^3$ とする。

なお，粉じん低減剤を添加したベースコンクリートは，通常のコンクリートに比べて粘性が高いため，スランプが小さ過ぎるとポンプ圧送性が悪く閉塞したり，脈動，噴発などにより吹付け性能が低下することがある。また，スランプが大きくなり過ぎると，粘性の低下により粉じん低減効果が不十

分になったり，はね返りが多くなることがある。このため，これまでの施工実績や信頼できる資料によると，吹付け開始時のスランプを11～16cmとすることが多い。

ただし，材料，粉じん低減剤の銘柄・使用量，配合，吹付け機械および吹付け条件などによって，最適なスランプ範囲が異なることが考えられる。この場合には，試験吹付けやこれまで十分な実績のある吹付けコンクリートの工事報告や関係機関での基準類を参考にして，最適なスランプの範囲に設定する必要がある。

(2)について：　粉じん低減剤を添加した吹付けコンクリートの目標強度を$\sigma_{28}=18N/mm^2$とした場合の施工実績および信頼できる資料より，水セメント比の範囲を示したものである。使用する骨材など材料の品質により，目標のスランプになる水量（水セメント比）が変動する可能性がある。

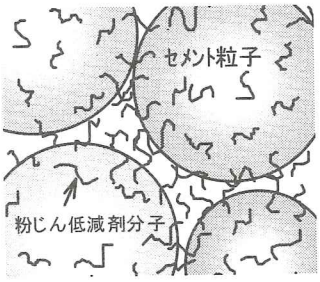
単位水量は，試験吹付けなどによって所要の吹付け性能，吹付けコンクリートの強度などを満足する範囲内でできるだけ少なくなるように定めることが必要である。

骨材の品質などが悪く，単位水量が多くなり過ぎる場合は，高性能減水剤を使用することを検討するとよい。ただし，高性能減水剤と粉じん低減剤との適合性（相性）の良否があるので，高性能減水剤や粉じん低減剤の製造会社が推奨するものを使用するか，試験練りなどにより吹付けコンクリートの性能に悪影響を及ぼさないものであることを確認する必要がある。

(3)について：　一般的には，骨材の最大寸法として，10～15mm のものがよく使われている。良質な骨材の入手が困難な場合もあるため，6 号砕石を使用する場合もある。これらの状況から 15mm 以下とする。

(4)について：　従来のセメント鉱物系の粉体急結剤の標準添加率は対セメント5.5質量%とすることが多かったが，近年，良質な骨材の不足や湿式方式の普及により，対セメント5.5質量%での吹付けでは付着が悪く，実施が困難な状況にある。また，模擬トンネルでの実験でも対セメント5.0質量%以下では，剥離が見られ，作業の安全性が懸念されるため，対セメント7.0質量%を標準とする。なお，使用する急結剤は粉体急結剤に限定する。

(5)について：　市販されている湿式吹付け用の粉じん低減剤の主成分はセルロース系の水溶性高分子であり，水に溶解してセメントペーストの粘性を高め，吹付け時の粉じんの発生を低減するものである。**図－2.2.1**に低減剤の直鎖状分子が水中やセメント粒子上に存在し，分子が絡み合いセメントペーストの粘性を高めている様子を模式的に示した。この高粘性のセメントペーストが，骨材表面上に強固に付着するため，吹付け時の圧縮空気による衝撃力を受けてもセメントペーストなどが骨材から分離するのを抑制している。



図－2.2.1 セメントペースト中の粉じん低減剤分子の状態

市販の粉じん低減剤の添加率は銘柄によって推奨値が異なり，対セメント 0.2 質量%を越える高添加率のものも見受けられるが対セメント 0.08～0.15%の範囲が多い。標準添加率は 0.1 質量%とするが，粉じん低減剤の銘柄と使用量により，粘性，凝結遅延性，空気連行性などの特性が異なる場合があり，吹付け性能，強度特性に違いが出る可能性がある。このため，使用する粉じん低減剤の製造会社の推奨値，信頼できる資料および施工実績をもとに適正な使用量を定めるのがよい。

既往の報告によれば，適切な使用量の範囲では，粉じん低減剤を使用した吹付けコンクリートの初

期強度，長期強度など硬化コンクリートの品質は，同一水セメント比の通常の吹付けコンクリートとほぼ同程度であり，悪影響を及ぼさないことが確認されている。ただし，使用量が多い場合は，凝結遅延性が大きくなり，初期強度での発現を遅らせる場合もあるので注意する必要がある。

粉じん低減剤を使用した場合の粉じん発生量低減対策による低減効果係数αは，0.50～0.75[10]として式（2-1）により，換気量を算定することができる。また，湿式吹付けのはね返り率は，模擬トンネルでの結果および実績等より**表－2.2.1**に示す値とみなすことができることがわかった。

表－2.2.1　粉じん低減剤を使用した場合のはね返り率

	加　背	支保パターン[11]	はね返り率
発破工法	上下半	B，CⅠ，CⅡ-a，CⅡ-b	２５％
	上　半	DⅠ-a，DⅠ-b，DⅡ	３０％
	下　半	DⅠ-a，DⅠ-b，DⅡ	２０％
機械掘削	上　半	CⅠ，CⅡ-a，CⅡ-b，DⅠ-a，DⅠ-b，DⅡ	３０％
	下　半	CⅠ，CⅡ-a，CⅡ-b，DⅠ-a，DⅠ-b，DⅡ	２０％

脚注：坑口部の支保パターンでのはね返り率は，DⅡを準用する。

2.2.2　スラリー急結剤を使用する場合の配合

スラリー急結剤を使用する吹付けコンクリートの配合は，下記を標準とする。

(1)　単位セメント量　　400kg/m^3

(2)　水セメント比　　53～57%

(3)　粗骨材の最大寸法　　15mm以下

(4)　急結剤

セメント鉱物系（主成分；カルシウムアルミネート鉱物系）の粉体急結剤

添加率は対セメント7.0質量%

(5)　スラリー化水

添加率は粉体急結剤の80重量%（対セメント5.6質量%）

(6)　急結助剤

水溶性高分子からなる粉体の混和剤

添加率は対セメント0.1質量%

(1)について：　σ_{28}＝18N/mm^{2}を目標とする場合には，標準の単位セメント量は400kg/m^{3}であるが，骨材，特に細骨材の性状により単位セメント量を増減させて施工性の良いコンクリートに調整する必要がある。また，適切なスランプおよび流動性が得られない場合，単位セメント量を420kg/m^{3}まで上げることもある。なお，単位セメント量が増加することにより，コンクリートの粘性が通常より少し増加する。そこで，施工性を確保するために吹付け開始時のスランプを13～17cmとすることが多い。

ただし，単位セメント量を420kg/m^{3}程度まで増加させても適正なスランプや流動性が得られない場合は，使用骨材の変更や高性能減水剤の使用を検討するとよい。また，フライアッシュなどの混和材を使用した場合などで，適正なスランプや流動性が得られない場合も同様である。

(2)について： スラリー化水を加えるため，ベースコンクリートの水セメント比は通常の60%程度から53～57%にすることが多い。なお，スラリー急結剤を標準量添加した場合，吹付けたコンクリートの水セメント比は60～63%に相当する。

(3)について： 前記2.2.1の(3)と同じ。

(4)について： 従来のセメント鉱物系の粉体急結剤の標準添加率は対セメント5.5質量%とすることが多かったが，近年，良質な骨材の不足や湿式方式の普及により，対セメント5.5質量%での吹付けでは付着が悪く，実施が困難な状況にある。スラリー急結剤も主成分が従来の急結剤と同じものであることから，添加率は対セメント7.0質量%を標準とする。

使用する急結剤は，その主成分を従来のセメント鉱物系とする粉体急結剤と同じであるが，スラリー化に適する専用の急結剤に限定する。このスラリー専用の急結剤は，従来のセメント鉱物系の粉体急結剤より強度発現性に優れ，吹付けたコンクリートの水セメント比が60～63%であっても，従来の吹付けコンクリートと同等の強度が得られる。

(5)について： 通常の上水道あるいはJSCE-B 101もしくはJIS A 5308(付属書3)に適合した水を用いる。

(6)について： ベースコンクリートに可塑性を付与し，吹付けたときの粉じんとはね返りを低減するために，専用の水溶性高分子からなる急結助剤を用いる。

スラリー急結剤を使用した場合の粉じん発生量低減対策による低減効果係数αは，0.40～0.60として式（2-1）により，換気量を算定することができる。

なお，スラリー急結剤を用いる配合は比較的新しいものであるが，はね返り率は模擬トンネルでの結果および実績，また，参考として高強度配合での実績等を考慮して**表－2.2.2**に示す値とみなすことができることがわかった。

表－2.2.2　スラリー急結剤を使用した場合のはね返り率

	加　背	支保パターン[11]	はね返り率
発破工法	上下半	B，CⅠ，CⅡ-a，CⅡ-b	２２%
	上　半	DⅠ-a，DⅠ-b，DⅡ	２５%
	下　半	DⅠ-a，DⅠ-b，DⅡ	２０%
機械掘削	上　半	CⅠ，CⅡ-a，CⅡ-b，DⅠ-a，DⅠ-b，DⅡ	２５%
	下　半	CⅠ，CⅡ-a，CⅡ-b，DⅠ-a，DⅠ-b，DⅡ	２０%

脚注：坑口部の支保パターンでのはね返り率は，DⅡを準用する。

2.2.3　液体急結剤を使用する場合の配合

液体の急結剤を使用する吹付けコンクリートの配合は，下記を標準とする。

(1)　単位セメント量　　380～420kg/m^3

(2)　水セメント比　　50%以下

(3)　粗骨材の最大寸法　　15mm以下

(4)　急結剤

主成分は水溶性アルミニウム塩系の液体急結剤 添加率は対セメント8.0～12.0質量% (5)　ベースコンクリート用高性能減水剤 添加率は対セメント1～2質量% (6)　その他の混和剤　必要に応じて使用すること

(1)および(2)について：　液体急結剤を用いて吹付けコンクリート施工時の粉じん濃度を低減する場合には，ベースコンクリートの単位セメント量を380～420kg/m^{3}とし，水セメント比を50%以下とすることを標準とする。これは，液体急結剤を用いる吹付けコンクリートでは，急結剤の添加により実際の単位水量が増加するため，ベースコンクリートの水セメント比および単位水量を従来の粉体急結剤の配合に比べて小さくしなければならないこと。また，ベースコンクリートのポンプ圧送性ならびに吹付けコンクリートの付着性を確保するためである。これには(5)に挙げたベースコンクリート用高性能減水剤の使用が有効である。液体急結剤を用いた吹付けコンクリートの吹付け性能ならびに強度発現性はベースコンクリートの配合に左右されるため，経済的な吹付けコンクリートを施工するためには，事前の配合選定試験ならびに吹付け試験を行い，現場配合を決定する必要がある。

なお，液体急結剤を用いる吹付けコンクリートに使用する吹付けシステムは，粉体急結剤を用いる場合の代表的なシステムであるエア圧送式とは異なり，吹付けノズル元までベースコンクリートをポンプ圧送するため，ベースコンクリートには良好なポンプ圧送性が求められる。しかし，粉体急結剤を用いる場合のベースコンクリートに比べ単位セメント量が多く，単位水量が少ないため，コンクリートの粘性が比較的大きくなり，ポンプ圧送性が低下する可能性がある。このため，吹付け開始時のスランプを18～22cmとすることが多い。

(3)について：　前記2.2.1の(3)と同じ。

(4)について：　水溶性アルミニウム塩系急結剤(アルカリフリーまたは低アルカリ型)は弱酸性(pH2～4)のため，取り扱い時に皮膚の火傷等（アルカリ火傷）の危険性がなく，また，安定した強度発現が得られる新しい急結剤である。現在市販されている水溶性アルミニウム塩系急結剤の標準的な使用量は対セメント8.0～12.0質量%であるが，湧水箇所や低温期の施工では，この1.5倍程度の添加量を必要とする場合がある。

(5)について：　液体急結剤を用いる吹付けコンクリートでは，ベースコンクリートの単位水量を小さくしなければならない。一方，骨材資源の枯渇化や採取箇所の制限から吹付けコンクリートに使用される細骨材や粗骨材が限定され，必ずしも良質な骨材が使用できる状況とはいえない。このためベースコンクリートの単位水量が増大し，水セメント比が大きくなりコンクリートのワーカビリティが確保できない場合がある。このようなことから，ベースコンクリート用高性能減水剤を使用する。

(6)について：　ポンプ圧送性を改善するため，必要に応じて空気調整剤等の混和剤を用いる場合がある。

液体急結剤を使用した場合の粉じん発生量低減対策による低減効果係数αは，0.20～0.40として式(2-1)により，換気量を算定することができる。

なお,液体急結剤を用いる配合も比較的新しいものであるが，はね返り率は模擬トンネルでの結果および実績等[12]，また，参考として高強度配合での実績等を考慮して**表－2.2.3**に示す値とみなすことができることがわかった。

表－2.2.3　液体急結剤を使用した場合のはね返り率

	加　背	支保パターン[11]	はね返り率
発破工法	上下半	B，CⅠ，CⅡ-a，CⅡ-b	１２％
	上　半	DⅠ-a，DⅠ-b，DⅡ	１５％
	下　半	DⅠ-a，DⅠ-b，DⅡ	１０％
機械掘削	上　半	CⅠ，CⅡ-a，CⅡ-b，DⅠ-a，DⅠ-b，DⅡ	１５％
	下　半	CⅠ，CⅡ-a，CⅡ-b，DⅠ-a，DⅠ-b，DⅡ	１０％

脚注：坑口部の支保パターンでのはね返り率は，DⅡを準用する。

2.2.4　SECにより製造したベースコンクリートを使用する場合の配合

SECにより製造したベースコンクリートに粉体急結剤を使用する吹付けコンクリートの配合は，下記を標準とする。

(1)　単位セメント量　　360kg/m^3

(2)　水セメント比　　55～65%

(3)　粗骨材の最大寸法　　15mm以下

(4)　急結剤

粉体急結剤で添加率は対セメント7.0質量%

(5)　混練方法　分割練混ぜ方式

(1)について：　σ_{28}=18N/mm^{2}を目標とする場合には，標準の単位セメント量は360kg/m^{3}とする。また，これまでの施工実績等によると吹付け開始時のスランプを8～12cmとすることが多い。

(2)について：　これまでの施工実績により，55～65%とした。

(3)および(4)について：　前記2.2.1の(3)および(4)と同じ。

(5)について：　吹付けコンクリートの品質を向上させるため，SEC仕様の分割練混ぜ方式とする。

すなわち，吹付けコンクリート製造設備において，骨材を一次水により十分湿潤させた後，セメントを投入して一次練混ぜを行い，骨材周囲に水セメント比の小さいペーストを造殻させてから，所定のコンシステンシーが得られる残余の水を投入して二次練混ぜを行ってベースコンクリートを製造する。

SECによりベースコンクリートを製造する際には，定められた一次水によって細骨材の吸着水とセメント等の粉体の吸着水とが共有の液膜を形成し，最大の練混ぜエネルギーを必要とする状態，いわゆる粉体と液体の毛管相（キャピラリー）を造り出すよう練り混ぜることが必要である。細骨材の吸着水は細骨材固有の材質・形状・粒度によって異なる拘束水量のことであり，混合に必要な一次水量（以下最適な一次水量という）は，細骨材の吸着水量にセメント等の粉体のキャピラリーに必要な水量を加えることであり，この一次水量の決定が重要なポイントとなる。最適な一次水量の算定方法は，文献13)を参照されたい。なお，SECは特許技術であり，その使用にあたっては最適な一次水量を決定するための試験費用および使用料（巻末資料-3　**参表－3.5.1**参照）が必要となる。

SECにより製造したベースコンクリートに粉体急結剤を使用した場合の粉じん発生量低減対策による低減効果係数αは，0.60～0.75として式（2-1）により，換気量を算定することができる。また，は

ね返り率は模擬トンネルでの結果および実績等より**表－2.2.4**に示す値とみなすことができることがわかった。

なお，SEC により製造されたベースコンクリートは，ポンプ圧送性が向上することから，いずれの急結剤およびいずれの吹付け方式に対しても適用可能である。

表－2.2.4　SEC により製造したベースコンクリートに粉体急結剤を使用した場合のはね返り率

	加　背	支保パターン[11]	はね返り率
発破工法	上下半	B，CⅠ，CⅡ-a，CⅡ-b	２２％
	上　半	DⅠ-a，DⅠ-b，DⅡ	２５％
	下　半	DⅠ-a，DⅠ-b，DⅡ	２０％
機械掘削	上　半	CⅠ，CⅡ-a，CⅡ-b，DⅠ-a，DⅠ-b，DⅡ	２５％
	下　半	CⅠ，CⅡ-a，CⅡ-b，DⅠ-a，DⅠ-b，DⅡ	２０％

脚注：坑口部の支保パターンでのはね返り率は，DⅡを準用する。

2.2.5　高品質吹付けコンクリートを使用する場合の配合

微粒分を混入し[14] 分割練混ぜ方式により製造したベースコンクリートに粉体急結剤を使用する吹付けコンクリートの配合は，下記を標準とする。

(1)　単位セメント量　　342kg/m^3
(2)　水結合材比　　55～60%
(3)　粗骨材の最大寸法　　15mm以下
(4)　急結剤
　　粉体急結剤で添加率は対結合材7.0質量%
(5)　単位シリカフューム量　18kg/m^3
(6)　石灰石微粉末　細骨材の一部置換とし，細骨材の0.15mm以下の含有量を加えて細骨材量の概ね15%となるように単位量を調整する。
(7)　高性能減水剤
　　添加率は対結合材0.5～1.0質量%
(8)　混練方法　分割練混ぜ方式

(1)について：　この配合によるコンクリートは高品質吹付けコンクリートと呼ばれ，微粒分を混入し，併せて結合材としてシリカフュームをセメントの一部と置換することにより，ベースコンクリートの粘性を有効に活用することを目的としてとしている[15]。

σ_{28}＝18N/mm^{2}を目標とする場合には，セメントの一部をシリカフュームで置換できることから，単位セメント量は342kg/m^{3}とする。

なお，吹付け開始時のスランプの範囲として，ポンプ搬送方式（ベースコンクリートをポンプ圧送で搬送し，途中Ｙ字管でほぐしエアを供給する方式）の場合には，6～10cmとする。また，空気搬送方式（ベースコンクリートが吹付け機械のロータリー部分からエアで搬送される方式[16]）の場合には，12～16cmとする。

(2)について： 結合材はセメントおよびシリカフュームであり，単位結合材量は360kg/m³となる。水結合材比とは，この単位結合材量に対する百分率である。これまでの実績から水結合材比を55～60%とする。

(3)および(4)について： 前記2.2.1の(3)および(4)と同じ。

(5)について： シリカフュームは，セメントと同じ結合材として取扱い，その量は単位結合材量360kg/m³の5質量%とし，単位シリカフューム量18kg/m³とする。

(6)について： 石灰石微粉末は，吹付けコンクリートに粘性を付与するために適切な量を混入することが望ましく，その混入量は細骨材のフルイ目0.15mm以下の量を求め，その比率が細骨材全体に対して15%程度となるように石灰石微粉末にて調整する。

(7)について： 吹付けコンクリートのワーカビリティを確保するために高性能減水剤を対結合材0.5～1.0質量%用いることとする。

(8)について： 前記2.2.4の(5)と同じ。

高品質吹付けコンクリートを使用した場合の粉じん発生量低減対策による低減効果係数αは，0.60～0.75[17]として式（2-1）により，換気量を算定することができる。また，はね返り率は模擬トンネルでの結果および実績等[13]より**表－2.2.5**に示す値とみなすことができることがわかった。

表－2.2.5　高品質吹付けコンクリートを使用した場合のはね返り率

	加　背	支保パターン[11]	はね返り率
発破工法	上下半	B，CⅠ，CⅡ-a，CⅡ-b	２０%
	上　半	DⅠ-a，DⅠ-b，DⅡ	２２%
	下　半	DⅠ-a，DⅠ-b，DⅡ	１５%
機械掘削	上　半	CⅠ，CⅡ-a，CⅡ-b，DⅠ-a，DⅠ-b，DⅡ	２２%
	下　半	CⅠ，CⅡ-a，CⅡ-b，DⅠ-a，DⅠ-b，DⅡ	１５%

脚注：坑口部の支保パターンでのはね返り率は，DⅡを準用する。

なお，高品質吹付けコンクリートは急結剤の種類や吹付け方式に関わらず使用できる。スラリー急結剤や液体急結剤を使用する場合の配合は，前記2.2.2および2.2.3を参照されたい。

2.2.6　ダストレス吹付け機械を使用する場合の配合

ダストレス吹付け機械で粉体急結剤を使用する吹付けコンクリートの配合は，下記を標準とする。

(1)　単位セメント量　　360kg/m³

(2)　水セメント比　　53～65%

(3)　粗骨材の最大寸法　　15mm以下

(4)　急結剤

粉体急結剤で添加率は対セメント7.0質量%

(1)について： σ_{28}=18N/mm²を目標とする場合には，標準の単位セメント量は360kg/m³とする。

なお，これまでの空気圧縮機を用いて吹付ける方式とは異なり，ほぐしエアを用いず回転力による

吹付け機構を採用しており，急結剤の添加も1.0m³/min以下の圧縮空気を用いている。そのため，粉体急結剤供給用としての7.5kW級の空気圧縮機を吹付け機械の台車に搭載している。ただし，二次覆工用の空気圧縮機については，吹付け工とは別途に用意する必要がある。

したがって，ブーム先端の遠心力吹付け装置までコンクリートポンプでベースコンクリートを圧送供給するため，吹付け開始時のスランプを11～16cmとすることが多い。

(2)について： 単位水量は，試験吹きなどによって所要の吹付け性能，吹付けコンクリートの強度などを満足する範囲内でできるだけ少なくなるように定める必要がある。このため，ポンプ圧送性も加味して実績から水セメント比の範囲を53～65%とした。骨材の品質などが悪く，単位水量が多くなり過ぎる場合は，高性能減水剤の使用を検討するとよい。

(3)および(4)について： 前記2.2.1の(3)および(4)と同じ。

ダストレス吹付け機械で粉体急結剤を使用した場合の粉じん発生量低減対策による低減効果係数αは，0.20～0.40として式（2-1）により，換気量を算定することができる。

なお，ダストレス吹付け機械による吹付けも比較的新しいものであるが，はね返り率は模擬トンネルでの結果および実績等より**表－2.2.6**に示す値とみなすことができることがわかった。

表－2.2.6　ダストレス吹付け機械で粉体急結剤を使用した場合のはね返り率

	加　背	支保パターン[11]	はね返り率
発破工法	上下半	B，CⅠ，CⅡ-a，CⅡ-b	２５%
	上　半	DⅠ-a，DⅠ-b，DⅡ	３０%
	下　半	DⅠ-a，DⅠ-b，DⅡ	２０%
機械掘削	上　半	CⅠ，CⅡ-a，CⅡ-b，DⅠ-a，DⅠ-b，DⅡ	３０%
	下　半	CⅠ，CⅡ-a，CⅡ-b，DⅠ-a，DⅠ-b，DⅡ	２０%

脚注：坑口部の支保パターンでのはね返り率は，DⅡを準用する。

一方，ダストレス吹付け機械は液体急結剤を使用することもできる。液体急結剤は，トンネルの掘削断面が小さい場合や風管の吐出口が切羽よりかなり離れざるを得ない場合等の換気設備の施工制約が大きい場合，または坑口付けのため周囲環境に特に注意を要する場合等に対し有効である。液体急結剤を使用する場合の吹付けコンクリートの配合は前記2.2.3を参照されたい。

2.2.7　エアレス吹付け機械でスラリー急結剤を使用する場合の配合

エアレス吹付け機械でスラリー急結剤を使用する吹付けコンクリートの配合は，下記を標準とする。

(1)　単位セメント量　　400kg/m³

(2)　水セメント比　　53～57%

(3)　粗骨材の最大寸法　　15mm以下

(4)　急結剤

セメント鉱物系（主成分；カルシウムアルミネート鉱物系）の粉体急結剤

添加率は対セメント7.0質量%

(5) スラリー水

添加率は粉体急結剤の80重量%（対セメント5.6質量%）

(6) 急結助剤

水溶性高分子からなる粉体の混和剤

添加率は対セメント0.1質量%

(1)～(6)について： 前記2.2.2の(1)～(6)と同じ。

エアレス吹付け機械でスラリー急結剤を使用した場合の粉じん発生量低減対策による低減効果係数αは，0.20～0.40として式（2-1）により，換気量を算定することができる。

なお，エアレス吹付け機械でスラリー急結剤を使用した吹付けは新しいものであるが，はね返り率は模擬トンネルでの結果より**表－2.2.7**に示す値とみなすことができることがわかった。

表－2.2.7 エアレス吹付け機械でスラリー急結剤を使用した場合のはね返り率

	加 背	支保パターン[11]	はね返り率
発破工法	上下半	B，CⅠ，CⅡ-a，CⅡ-b	１８%
	上 半	DⅠ-a，DⅠ-b，DⅡ	２３%
	下 半	DⅠ-a，DⅠ-b，DⅡ	１３%
機械掘削	上 半	CⅠ，CⅡ-a，CⅡ-b，DⅠ-a，DⅠ-b，DⅡ	２３%
	下 半	CⅠ，CⅡ-a，CⅡ-b，DⅠ-a，DⅠ-b，DⅡ	１３%

脚注：坑口部の支保パターンでのはね返り率は，DⅡを準用する。

2.2.8 エアレス吹付け機械で液体急結剤を使用する場合の配合

エアレス吹付け機械で液体急結剤を使用する吹付けコンクリートの配合は，下記を標準とする。

(1) 単位セメント量 380～420kg/m^3

(2) 水セメント比 50%以下

(3) 粗骨材の最大寸法 15mm以下

(4) 急結剤

主成分は水溶性アルミニウム塩系の液体急結剤

添加率は対セメント8.0～12.0質量%

(5) 高性能減水剤

添加率は対セメント1～2質量%

(6) その他の混和剤 必要に応じて使用すること

(1)について： 前記2.2.3の(1)と同じ。ただし，これまでの空気圧縮機を使って吹付ける方式とは異なり，ほぐしエアおよび急結剤供給用の圧縮空気も用いないで回転力による吹付け機構を採用している。このため，これまでの実績によると吹付け開始時のスランプを18～22cmとすることが多い。

(2)～(6)について： 前記2.2.3の(2)～(6)と同じ。

エアレス吹付け機械で液体急結剤を使用した場合の粉じん発生量低減対策による低減効果係数α

は，0.20～0.40[18]として式（2-1）により，換気量を算定することができる。

なお，エアレス吹付け機械で液体急結剤を使用した吹付けは比較的新しいものであるが，はね返り率は模擬トンネルでの結果および実績等より**表－2.2.8**に示す値とみなすことができることがわかった。

表－2.2.8　エアレス吹付け機械で液体急結剤を使用した場合のはね返り率

	加　背	支保パターン[11]	はね返り率
発破工法	上下半	B，ＣⅠ，ＣⅡ-a，ＣⅡ-b	１８％
	上　半	ＤⅠ-a，ＤⅠ-b，ＤⅡ	２３％
	下　半	ＤⅠ-a，ＤⅠ-b，ＤⅡ	１３％
機械掘削	上　半	ＣⅠ，ＣⅡ-a，ＣⅡ-b，ＤⅠ-a，ＤⅠ-b，ＤⅡ	２３％
	下　半	ＣⅠ，ＣⅡ-a，ＣⅡ-b，ＤⅠ-a，ＤⅠ-b，ＤⅡ	１３％

脚注：坑口部の支保パターンでのはね返り率は，ＤⅡを準用する。

2.2.9　局所集じんシステムを使用する場合の配合

局所集じんシステムを使用する吹付けコンクリートの配合は，下記を標準とする。

(1)　単位セメント量　　360kg/m^3

(2)　水セメント比　　45～65%

(3)　粗骨材の最大寸法　　15mm以下

(4)　急結剤

粉体急結剤で添加率は対セメント7.0質量%

(1)について：　σ_{28}が18N/mm^{2}を目標とする場合には，標準の単位セメント量は360kg/m^{3}とする。

(2)について：　これまでの施工実績等[19]により45～65%とした。

(3)および(4)について：　前記2.2.1の(3)および(4)と同じ。

局所集じん機を使用して吹付けた場合の粉じん発生量低減対策による低減効果係数αは，0.50～0.75として式（2-1）により，換気量を算定することができる。また，はね返り率は模擬トンネルでの結果，および吹付け方式と吹付けコンクリート配合が従来のものと同じであることから**表－2.2.9**に示す値とみなすことができることがわかった。

表－2.2.9　局所集じん機を使用して吹付けた場合のはね返り率

	加　背	支保パターン[11]	はね返り率
発破工法	上下半	B，ＣⅠ，ＣⅡ-a，ＣⅡ-b	２５％
	上　半	ＤⅠ-a，ＤⅠ-b，ＤⅡ	３０％
	下　半	ＤⅠ-a，ＤⅠ-b，ＤⅡ	２０％
機械掘削	上　半	ＣⅠ，ＣⅡ-a，ＣⅡ-b，ＤⅠ-a，ＤⅠ-b，ＤⅡ	３０％
	下　半	ＣⅠ，ＣⅡ-a，ＣⅡ-b，ＤⅠ-a，ＤⅠ-b，ＤⅡ	２０％

脚注：坑口部の支保パターンでのはね返り率は，ＤⅡを準用する。

2.2.10　伸縮風管システムを使用する場合の配合

伸縮風管システムを使用する吹付けコンクリートの配合は，下記を標準とする。

(1)　単位セメント量　　360kg/m³

(2)　水セメント比　　45～65%

(3)　粗骨材の最大寸法　　15㎜以下

(4)　急結剤

粉体急結剤で添加率は対セメント7.0質量%

(1)～(4)について：　前記2.2.9の(1)～(4)と同じ。

伸縮風管システムを使用して吹付けた場合の換気量は式（2-2）で算定することができる。また，はね返り率は吹付け方式と吹付けコンクリート配合が従来のものと同じであることから**表－2.2.10**に示す値とみなすことができることがわかった。

表－2.2.10　伸縮風管システムを使用して吹付けた場合のはね返り率

	加　背	支保パターン[11]	はね返り率
発破工法	上下半	B，CⅠ，CⅡ-a，CⅡ-b	２５%
	上　半	DⅠ-a，DⅠ-b，DⅡ	３０%
	下　半	DⅠ-a，DⅠ-b，DⅡ	２０%
機械掘削	上　半	CⅠ，CⅡ-a，CⅡ-b，DⅠ-a，DⅠ-b，DⅡ	３０%
	下　半	CⅠ，CⅡ-a，CⅡ-b，DⅠ-a，DⅠ-b，DⅡ	２０%

脚注：坑口部の支保パターンでのはね返り率は，DⅡを準用する。

＜参考文献＞

1) 建設業労働災害防止協会「改訂ずい道等建設工事における換気技術指針≪設計及び粉じん等の測定≫」, p. 145, 平成 14 年 3 月 12 日

2) 前掲 1), p. 63

3) 前掲 1), p. 208 の表－2. 5. 2

4) (社) 日本道路協会「道路トンネル技術基準（構造編）・同解説」, p. 108, 平成 15 年 11 月

5) (社) 土木学会「2002 年制定コンクリート標準示方書（施工編）」, p. 356, 平成 14 年 5 月

6) 前掲 5), p. 354

7) 山口「トンネルの吹付けコンクリート」, p. 114, 平成 8 年 2 月, (社) 日本トンネル技術協会

8) 赤坂ほか「報告　吹付けコンクリートの施工条件を変動させた場合の粉じん濃度について」, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 27, 投稿中, (社) 日本コンクリート工学協会, 2005. 7

9) 前掲 5), p. 355

10) 前掲 1), p. 130

11) 前掲 4), p. 126

12) 森下ほか「新しい吹付けコンクリート急結剤の適用と評価　近畿自動車道島田トンネル」, トンネルと地下, 第 32 巻 4 号, pp. 23-pp. 30, 平成 13 年 4 月, (株) 土木工学社

13) 日本鉄道建設公団「高品質吹付けコンクリート設計・施工指針（案）（微粒分を混入し粘性を活用した吹付けコンクリート　添付資料；SEC 工法の一次水量決定試験方法他」, 平成 9 年 5 月

14) 日本鉄道建設公団「NATM 設計施工指針」, p. 79, 平成 8 年 9 月

15) 前掲 13), p. 1

16) 前掲 7), p. 130

17) 末永ほか「微粒分混入による吹付けコンクリートの高品質化に関する研究」, トンネルと地下, 第 26 巻 5 号, pp. 27-pp. 35, 平成 7 年 5 月, (株) 土木工学社

18) 中川ほか「圧縮空気を用いない吹付方式の試験施工」, 土木学会第 56 回年次学術講演会講演概要集, pp. 480-pp. 481, 平成 13 年 10 月

19) 前掲 4), p. 111

3. 施　工

3.1 施工一般

(1) 吹付けコンクリートの施工は，施工計画に従うことを原則とする。
(2) 吹付けにあたっては，試験吹付けを行い，現場配合を定めるものとする。
(3) 吹付け作業では，吹付け効率が低下しないように注意しなければならない。

(1)について： 施工にあたっては，現地の特殊条件などを考慮して施工法，工事用設備，人員配置計画，工程などについて，ガイドライン，設計図書および工期等に適合した施工計画に基づき吹付け作業を行うこととなる。本章は，吹付け作業時の発生粉じん対策に資することを目的として，前記第2章で示した対策技術の施工法を記述したものである。

(2)について： 吹付けコンクリートの設計配合は，前記2.2で示した各配合の中から地山条件や施工条件等を考慮して適切に選定することとなるが，実際の現場で試験吹付けを行ない，目標とする粉じん濃度や強度が得られる現場配合を定める必要がある。

ここで，吹付け方式には湿式・乾式などがあるが，コンクリート製造時の配合管理が有利であることから湿式が一般的である[1)]。

なお，これまで粉体急結剤を用いた湿式方式による吹付けでも，Y字管で供給された急結剤がベースコンクリートに十分混和されず，作業雰囲気に放出される場合があり，これが粉じん濃度を高くする要因の一つとして考えられてきた。しかしながら，**図－3.1.1** は換気条件等を同じとして，粉体急結剤の有無のみによる粉じん濃度を比較したものであり，粉体急結剤の使用が粉じん濃度を高くするものではないことがわかった。また，回転力方式によっても同様な結果となっていた[2)]。したがって，湿式による粉体急結剤を用いた吹付けでは，未混合による粉体急結剤そのものによる粉じん濃度へ与える影響は少ないと考えられる。

(3)について： 吹付けコンクリートは山岳トンネル工法の支保部材の一つであり，掘削直後の切羽を安定させるために不可欠な部材である。したがって，吹付け作業は掘削に引き続き速やかに行われる必要があり，ノズルの閉塞による中断など吹付け効率の低下はできるだけ避けなければならない。したがって，吹付け作業の施工性が重要となる。

ちなみに，施工性の指標の一つとして，掘削1サイクル当りの実吹付け時間（T）があり，次式で算定される。

$$T = 60 \cdot V / F \qquad \cdots\cdot (3\text{-}1)$$

T：掘削1サイクル当りの実吹付け時間（min/1サイクル）
V：掘削1サイクル当り吹付けコンクリート量（m^3）
F：コンクリート吹付け機械の作業能力（12m^3/h）。

そして，吹付けコンクリート量Vは，次式で算定される。

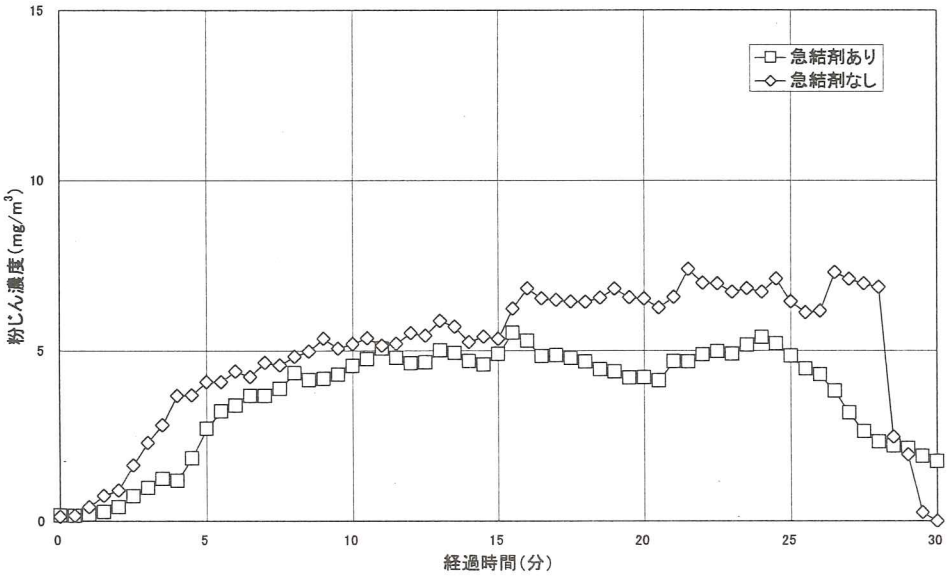
$$V = \text{掘削1サイクル当り吹付け面積} \times \text{設計厚さ} \times \text{補正係数} \qquad \cdots\cdot (3\text{-}2)$$

ここに，補正係数は次式によるものとする。

$$\text{補正係数} = (\text{設計吹付け厚} + \text{余吹厚}) / (\text{設計吹付け厚} \times (1 - \text{はね返り率})) \qquad \cdots\cdot (3\text{-}3)$$

なお，吹付けコンクリートの品質管理項目としては，吹付けコンクリートの強度および吹付けコンクリートの構成材料である骨材，セメント，水，急結剤，その他必要な混和材や減水剤等の混和剤などがある。また，配合のばらつきが生じないように練混ぜにあたっての計量器の性能や練混ぜ機の性

能もある。さらに，出来形管理としては，吹付け厚がある。



図－3.1.1　粉体急結剤の有無による粉じん濃度の測定例

3.2　対策技術の施工法

3.2.1　粉じん低減剤を用いた施工法

粉じん低減剤を用いた吹付けでは，ベースコンクリートに所定の低減剤を均一に分散溶解するよう適切に練り混ぜなければならない。

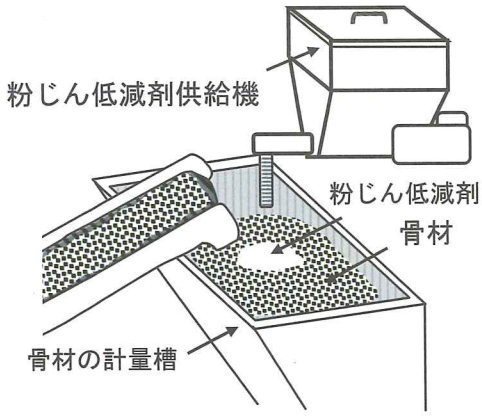
粉じん低減剤を用いた技術は，粉末状の粉じん低減剤をベースコンクリートに添加し練り混ぜ，セメントペーストの粘性を高めて，吹付け時に発生する粉じんを低減するものである。粉じん低減剤以外の使用材料および吹付けシステムは，通常の吹付けコンクリートと同様であり，粉じん低減剤を用いた吹付けコンクリートの配合は，前記 2.2.1 で示した配合を用いる。

粉じん低減剤の添加方法は，コンクリート中に所定量を添加して，分散混合され，水に充分に溶解してその性能が発揮される方法で行う。一般的には，自動計量で添加する装置(供給機：**図－3.2.1**)により，練混ぜのバッチごとに細骨材あるいは粗骨材の計量槽に添加する方法（プラント添加方式）が用いられる。

一方，JIS 工場のコンクリートプラントでベースコンクリートを製造する場合など，供給機の設置が困難な場合には，可溶性の袋に詰められた粉じん低減剤をアジテータトラックに手で投入し，高速攪拌して練り混ぜる方法(アジテータトラックへの手投入方式)(**写真－3.2.1**)を用いる場合がある。アジテータトラックのドラム内への投入はコンクリート積載量を 4.4～4.5㎥以下として，ドラム内に必要数量を均一となるように投入する。そして，練混ぜに要する高速攪拌の時間は 2 分間とすることが多い。

なお，コンクリートの積載量が 4.4～4.5㎥を超える場合や粉じん低減剤の投入を一箇所に集中させ

ると粉じん低減剤が分散しない場合があるので注意が必要である。また，この方法を推奨していない粉じん低減剤の製造会社・銘柄があるので注意する必要がある。したがって，この方法を採用している低減剤を使用して，アジテータトラックへの手投入方式を実施する場合には，事前に充分調査するとともに，試験により所定の品質のコンクリートが製造できることを確認する必要がある。



図－3.2.1　粉じん低減剤供給機模式図



写真－3.2.1　袋詰め粉じん低減剤の投入例

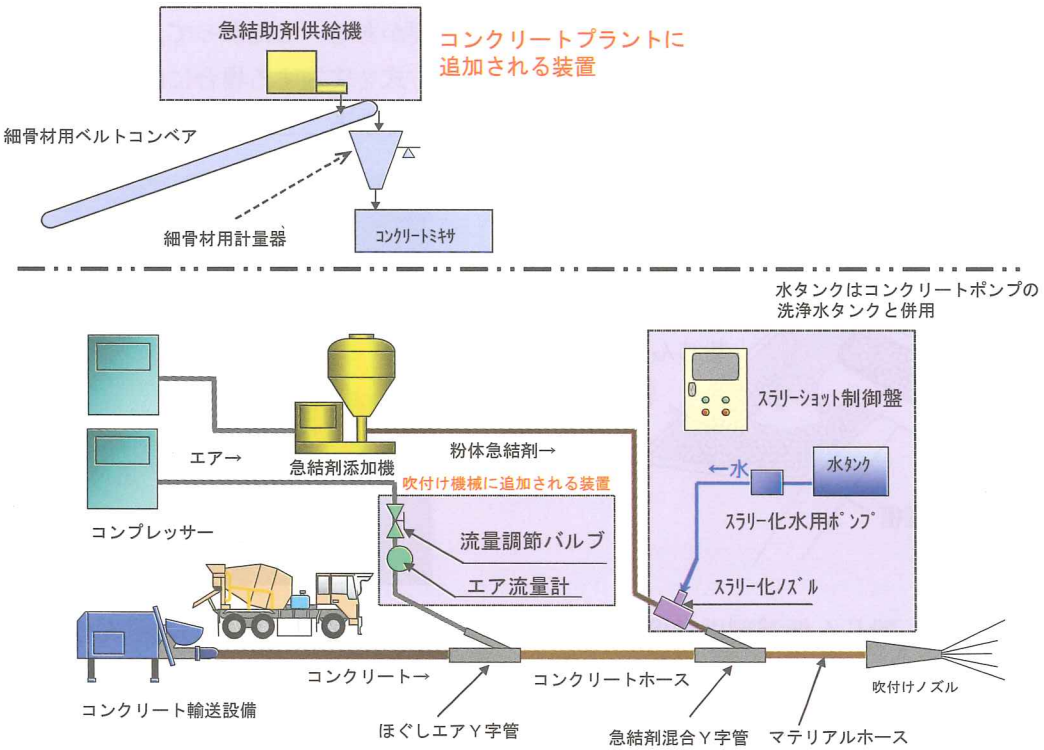
3.2.2　スラリー急結剤を用いた施工法

(1)　スラリー急結剤を用いた吹付けでは，専用急結剤およびスラリーショットシステムを使用して適正な水急結剤比としたスラリー急結剤を標準添加率で使用しなければならない。

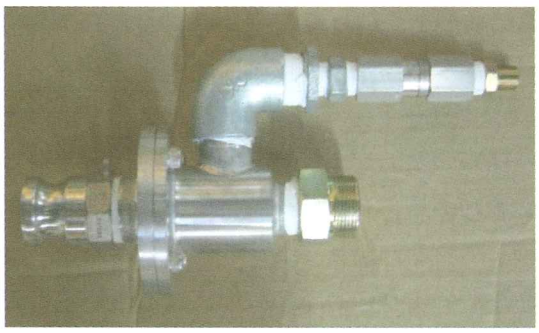
(2)　ベースコンクリートは，練混ぜ時に所定の急結助剤を添加して製造し，吹付け方法はエア圧送として，適正なほぐしエア量で吹付けしなければならない。

(1)について：　スラリー急結剤を用いた吹付けコンクリートの配合は，前記2.2.2で示した配合を用いる。スラリー急結剤用粉体急結剤の主成分は，従来のセメント鉱物系の粉体急結剤と同じであるが，スラリー化に適する専用の急結剤を使用する必要がある。スラリー急結剤は，専用の粉体急結剤をスラリー化水により連続的にスラリー化するため，スラリーショットシステムを用いて，適正な水急結剤比とする必要がある。このシステムは**図－3.2.2**のように急結剤添加装置と連動することにより，水急結剤比を一定にするとともに，急結剤添加操作を従来の粉体急結剤を用いる場合と同一の操作で行なうことができる。

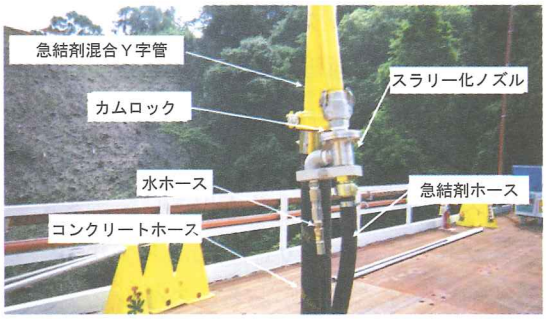
スラリー化ノズル（**写真－3.2.2**）は，粉末状の専用急結剤と水を混合してスラリー化するノズルであり，コンクリートホースの先端部に装着される（**写真－3.2.3**）。このノズルに送られる水の供給量は，スラリーショット制御盤（**写真－3.2.4**）の設定により水ポンプ（**写真－3.2.5**）がコントロールされ，自動的に調整される。



図－3.2.2　スラリーショットシステム概要図



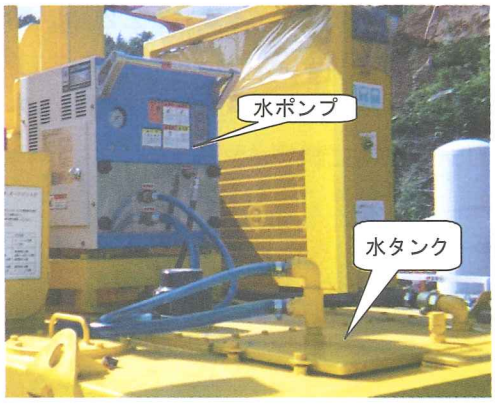
写真－3.2.2　スラリー化ノズル



写真－3.2.3　スラリー化ノズル接続例

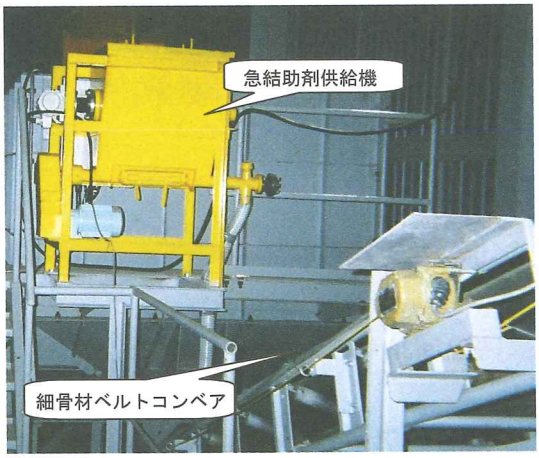


写真－3.2.4　スラリーショット制御盤



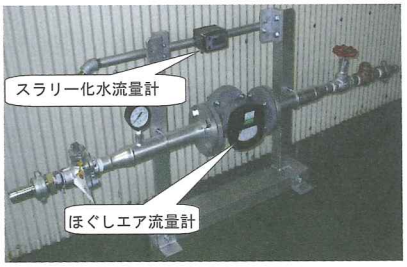
写真－3.2.5　スラリー水用ポンプ・タンク

(2)について： 通常ベースコンクリートの製造は，コンクリートプラントに設置した供給機から，専用の急結助剤を細骨材ベルトコンベア上に添加して練り混ぜる方法とすることが多い。**写真－3.2.6** に設置状況の例を示す。



写真－3.2.6　急結助剤供給機の例

また，吹付け方法は通常の方法と同じであるが，ほぐしエア量はエア流量計により適正な流量に管理して吹付ける。**写真－3.2.7** に設置状況の例を示す。



写真－3.2.7　エア流量計の例

3.2.3　液体急結剤を用いた施工法

液体急結剤を用いた吹付けは，液体急結剤添加装置および液体急結剤専用吹付けノズルを使用して行わなければならない。

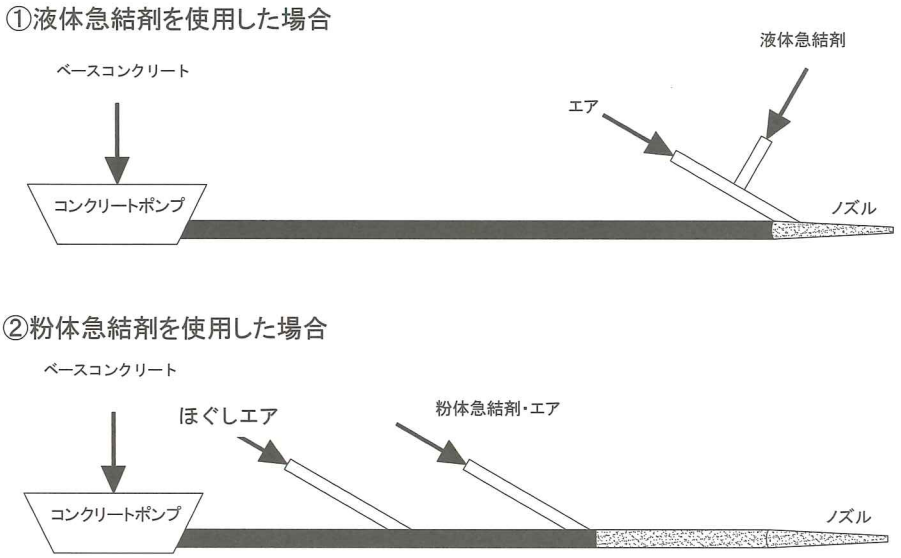
液体急結剤剤を用いた吹付けコンクリートの配合は，前記 2.2.3 で示した配合を用いる。そして吹付け機械は，国内で一般的に使用されている粉体急結剤と同様の吹付け機械を用いて行うことができる。

ただし，液体急結剤を使用する場合の吹付けシステムは，国内で一般に使用されている粉体急結剤のそれと異なり，コンクリートを吹付けノズル元までポンプ圧送し，ノズル内においてコンクリートに適量のエアで急結剤を混合し，かつそのエアで吹付けを行う方式（**図－3.2.3**）としている。

すなわち，液体急結剤添加装置および液体急結剤専用吹付けノズル（**図－3.2.4**）を使用して行う方式とすることにより，粉体急結剤を使用する場合と比較して，ほぐし（ばらし）エアが不要となっ

て全体のエア使用量を少なくすることができ，粉じんの発生やはね返り量が低減されることになる。

写真－3.2.8 に液体急結剤のタンク，供給のポンプおよび制御盤からなる液体急結剤添加装置を吹付け機械に搭載した例を示す。



図－3.2.3　急結剤添加方式の差異

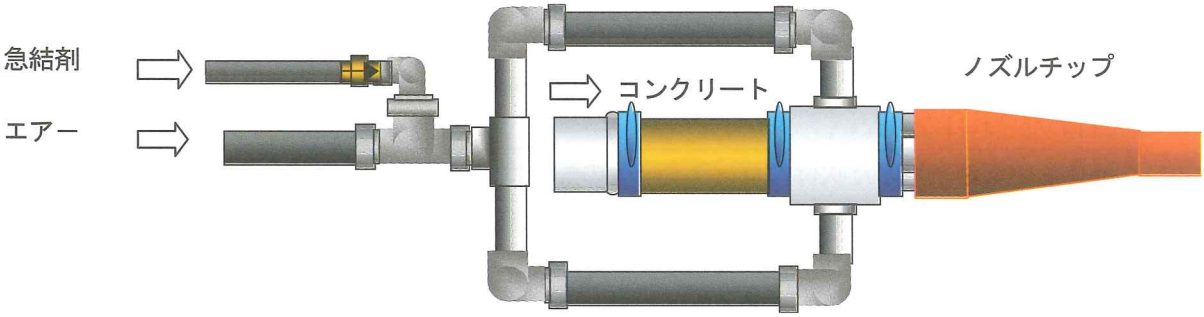
施工においては，次の点に留意する必要がある。

① コンクリートのポンプ圧送性ならびに急結剤の混合性を確保するため，吹付け開始前のコンクリートのスランプは 18～22cm とする。

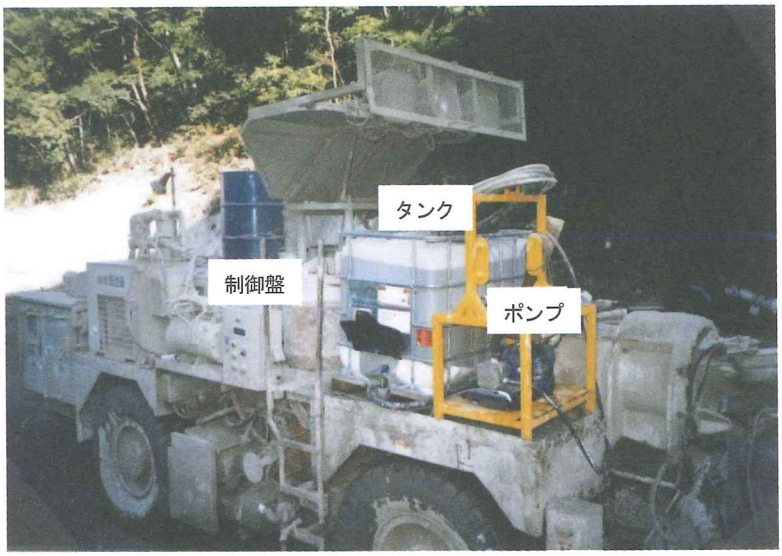
② 液体急結剤を使用する吹付けコンクリートでは，急結剤の添加により実際の単位水量が増加するため，ベースコンクリートの単位水量を従来の粉体急結剤を使用する場合に比べて小さくする。

③ マテリアルホースはノズル先端までコンクリートを圧送するため，高耐圧ホースを使用する。

④ 吹付けノズルは急結剤添加リングとノズルが一体となった専用ノズルを使用する。



図－3.2.4　ノズル部詳細図



写真－3.2.8　液体急結剤を用いた場合の吹付け機械例

なお，液体急結剤を用いて吹付ける際のノズル操作は，ノズルを一箇所に止めずに常に動かして，吹付け面全体に薄吹きを繰り返しながら吹き重ねていく操作方法によることが多い（**写真－3.2.9**）。

また，液体急結剤の搬入は，**写真－3.2.10** に示すようなタンク単位で行うことが一般的である。



写真－3.2.9　吹付け状況



写真－3.2.10　急結剤タンクの例

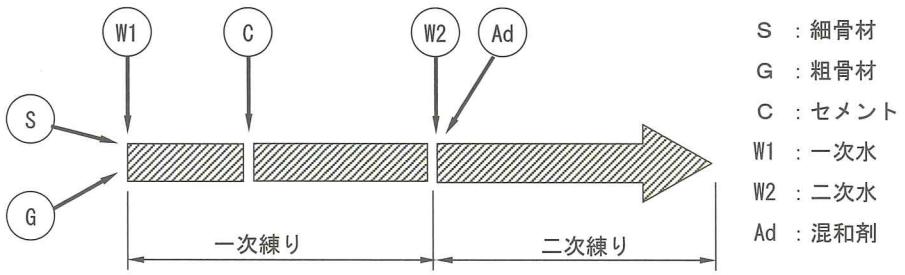
3.2.4　SEC により製造したベースコンクリートを用いた施工法

SEC で製造した湿式吹付けコンクリートを用いた吹付けでは，適切な材料投入順序および適切な練混ぜ時間においてコンクリートを製造しなければならない。

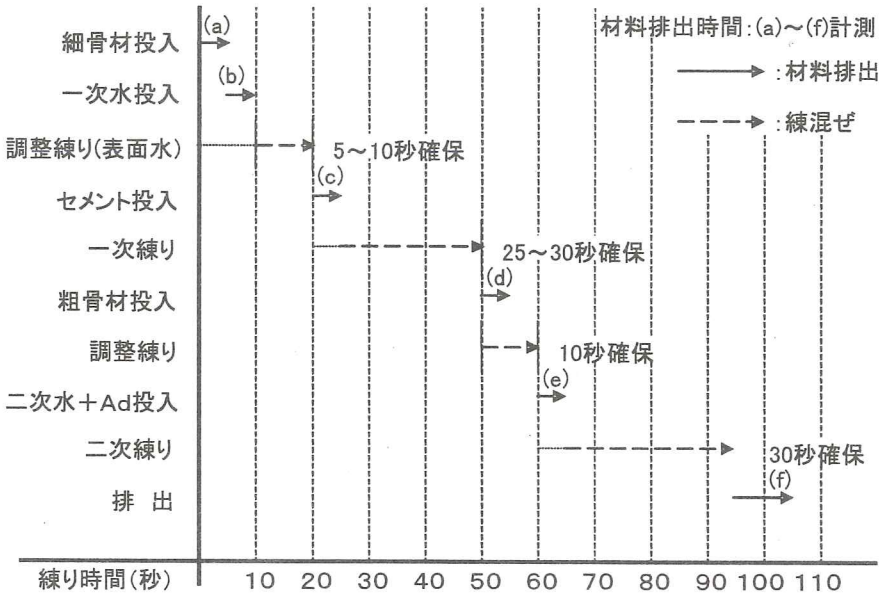
液体急結剤などを使用する場合にもベースコンクリートの製造を SEC 仕様とすることもあるが，一般的には，SEC 仕様で製造したベースコンクリートに粉体急結剤剤を添加する吹付けコンクリートの配合が多いことから，本項では前記 2.2.4 で示した配合を用いた場合について記述する。

コンクリートの練混ぜは，**図－3.2.5** に示す手順にて材料を投入し，2 回に分割して行われる。すなわち，コンクリートプラントに設置されたミキサが，パン型ミキサの場合には**図－3.2.6** に示す練混ぜサイクルタイムで，二軸強制練りミキサの場合には**図－3.2.7** に示す練混ぜサイクルタイムで，それぞれ練り混ぜることが多い。

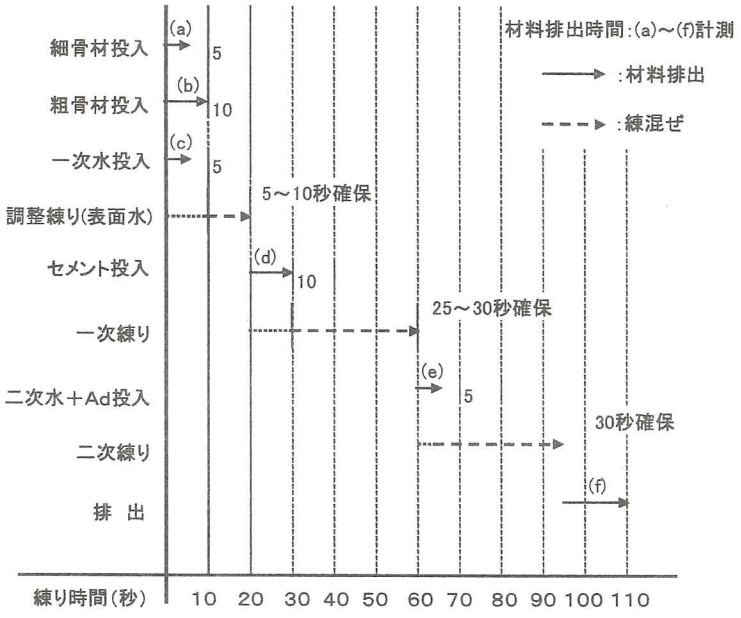
一方，吹付け作業は一般的な粉体急結剤を使った場合と同様の吹付け機械で行うことができる。



図－3.2.5　分割練混ぜ方式（SEC）の材料投入手順



図－3.2.6　パン型ミキサを用いた場合



図－3.2.7　二軸強制練りミキサを用いた場合

3.2.5　高品質吹付けコンクリートを用いた施工法

高品質吹付けコンクリートを用いた吹付けでは，適切な順序で石灰石微粉末およびシリカフュームなどの材料を投入し，分割練り混ぜしなければならない。

高品質吹付けコンクリートの配合は，前記 2.2.5 で示した配合を用いる。

ここで，セメント・石灰石微粉末，シリカフュームの粉体をそれぞれ個別で使用することも可能であるが，その場合には各粉体がそれぞれ貯蔵・計量・投入できる装置を有するコンクリートプラントを用いる必要がある。しかしながら，粉体が 2 種類以上混合されたプレミックス材を使用すれば設備を省力化できる。

現在，主に用いられている粉体の形態に応じたコンクリートプラント設備の留意点は，以下のとおりである。

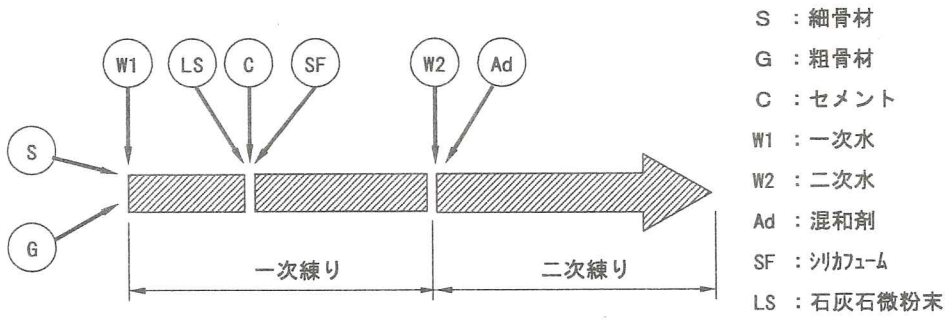
(1)　セメントと 2 種混合粉体（石灰石微粉末＋シリカフューム）の 2 種類の粉体を用いる場合には，セメントおよび混合粉体をそれぞれ貯蔵できるサイロが 2 基必要となる。なお，これら粉体を累積計量することも可能であることから粉体専用の計量装置は 1 つでよい。

(2)　セメントと石灰石微粉末の 2 種による混合セメントを用いる場合には，混合セメントを貯蔵できるサイロは 1 基となり，粉体専用の計量装置は 1 つでよい。しかしながら，この場合には水に溶解したスラリー状のシリカフュームを使用することが多く，別途，スラリー状のシリカフュームを貯蔵するためのタンクが 1 基必要となる。また，スラリー状のシリカフュームの計量装置を用意する必要がある。なお，所定の一次水量より骨材の表面水率とともにスラリー状のシリカフュームに含まれる水量も差し引く必要がある。

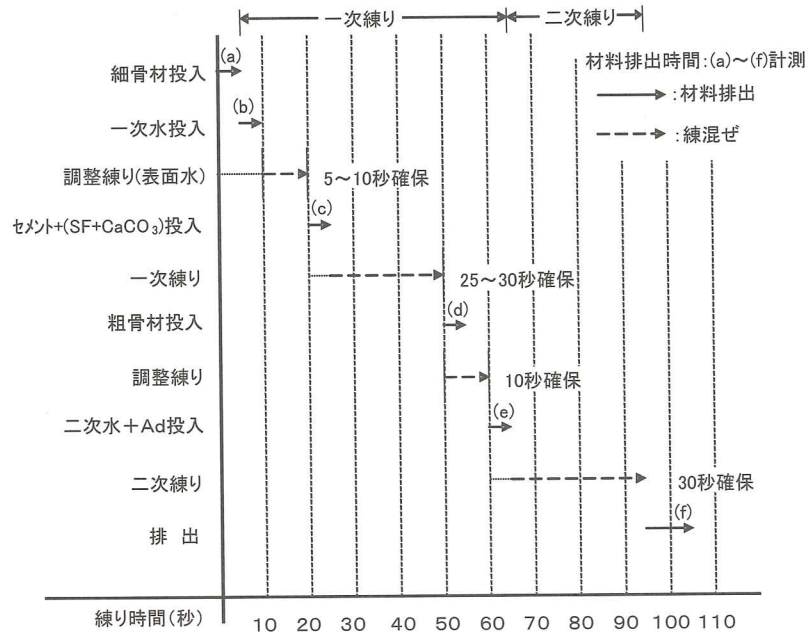
(3)　3 種混合粉体（セメント＋石灰石微粉末＋シリカフューム）を用いる場合には，貯蔵できるサイロは 1 基で済み，計量装置も 1 つでよい。

コンクリートの練混ぜは，**図－3.2.8** に示す手順にて材料を投入し，2 回に分割して行われる。すなわち，コンクリートプラントに設置されたミキサが，パン型ミキサの場合には**図－3.2.9** に示す練混ぜサイクルタイムで，二軸強制練りミキサの場合には**図－3.2.10** に示す練混ぜサイクルタイムで，それぞれ練り混ぜることが多い。

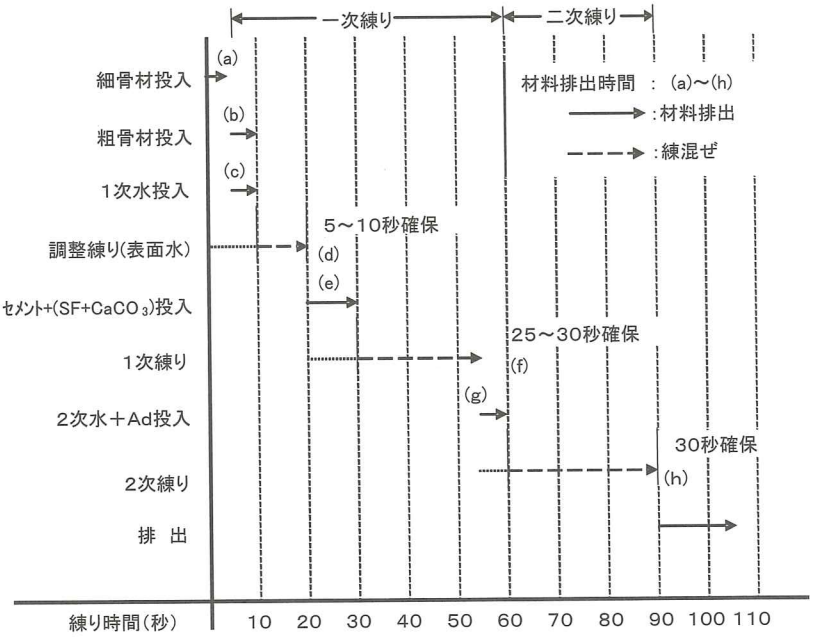
一方，吹付け作業は一般的な粉体急結剤を使った場合と同様の吹付け機械で行うことができる。



図－3.2.8　微粒分を混入し SEC 仕様で練り混ぜる場合の材料投入順序



図－3.2.9　パン型ミキサを用いた場合



図－3.2.10　二軸強制練りミキサを用いた場合

3.2.6　ダストレス吹付け機械に粉体急結剤を用いた施工法

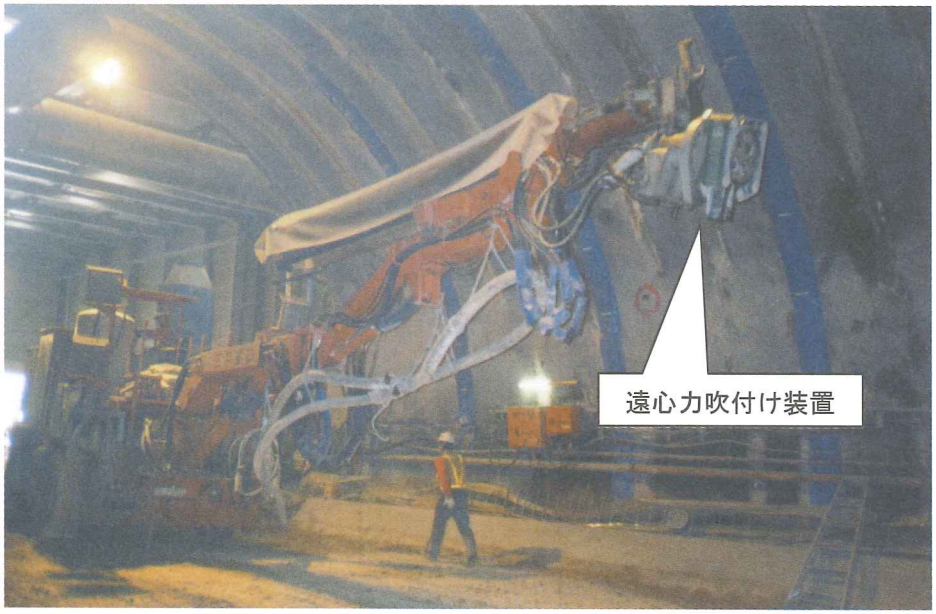
(1)　ダストレス吹付け機械を用いた吹付けでは，ベースコンクリートはコンクリートポンプによりブーム先端の遠心力吹付け装置まで圧送できるものでなければならない。

(2)　ダストレス吹付け機械による吹付けでは，圧縮空気を使用せずに，コンクリートを高速回転するインペラから遠心力でトンネル地山に投射する回転力方式として，コンクリートと急結剤は機械的撹拌により適切に混合されなければならない。

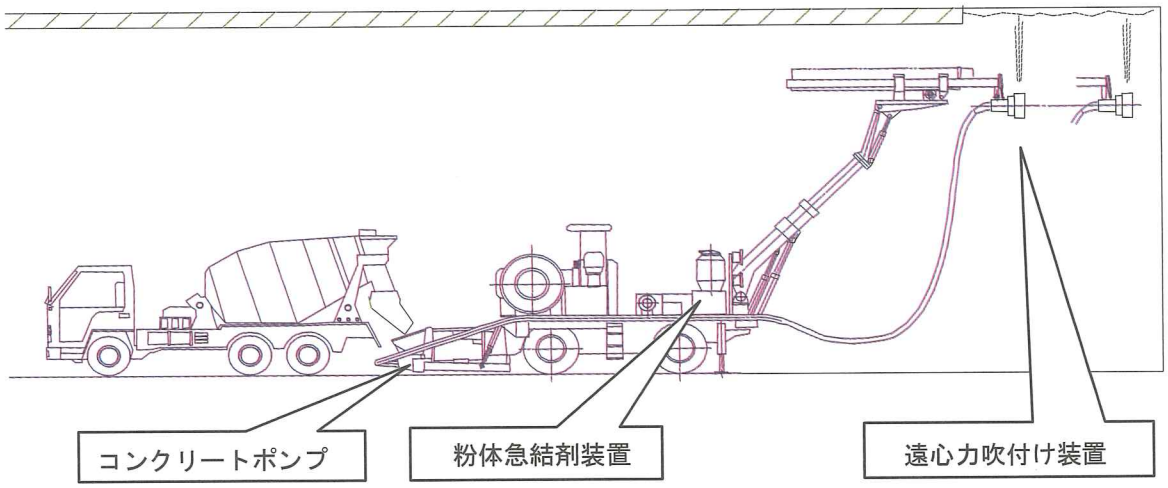
(1)について：　ダストレス吹付け機械を**写真－3.2.11** および**図－3.2.11** に示す。また，主な仕様を**表－3.2.1** に示す。

この吹付け機械を用いた吹付けコンクリートの配合は，前記 2.2.6 で示した配合を用いる。そして，コンクリートをブーム先端の遠心力吹付け装置まで，配管内をコンクリートポンプのピストン圧のみで圧送供給するため，現場配合はポンプ圧送に適したベースコンクリートとなるような配合とすることが必要である。

(2)について：　遠心力吹付け装置の混合撹拌部にて，コンクリートと添加された急結剤は撹拌翼で強制混合撹拌され，その混合された吹付けコンクリートは周囲をエンドレスベルトで覆われた高速回転するインペラの回転力による遠心力を付与され，開口部である吐出口（以下この項では，ノズルという）より一定方向に投射され吹付けを行う。そして，ノズルを移動させることによりトンネルの天井部や側壁部，切羽部等の任意の方向に吹付けるものである。すなわち，ノズルマンは遠心力吹付け装置のノズル部旋回，前傾・後傾，左右首振機構により吹付け方向を操作して吹付けることができる。



写真－3.2.11　ダストレス吹付け機械の例

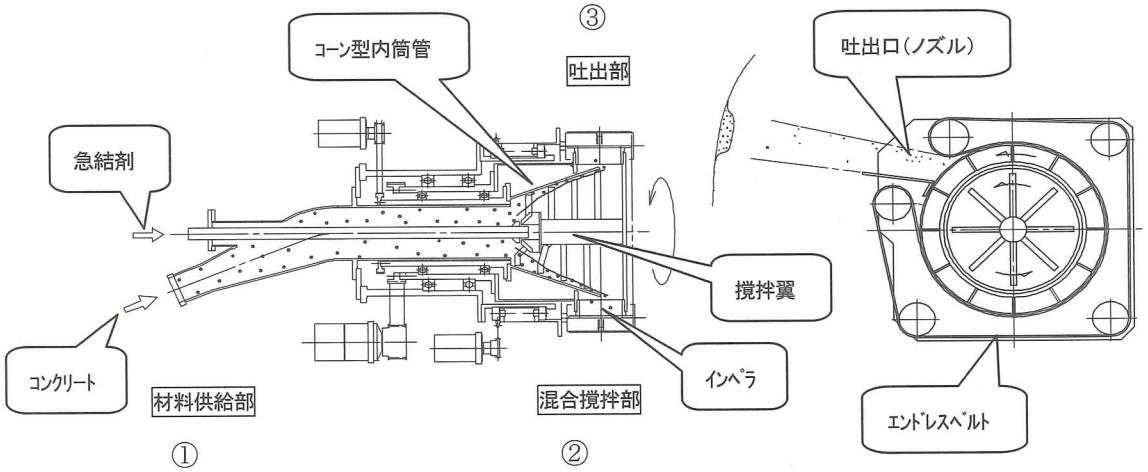


図－3.2.11　ダストレス吹付け機械による吹付け摸式図

表－3.2.1　ダストレス吹付け機械の仕様例

名　　称	遠心力トンネル吹付け機
吹付け方式	回転力方式（遠心力タイプ）
実吹付け能力	15～16m³/h 級
急結剤撹拌方式	強制撹拌方式
使用急結剤	粉体急結剤または液体急結剤
コンクリート供給	コンクリートポンプ（吐出量 20m³/h 級）
台　　車	タイヤ走行式

ダストレス吹付け機械のベースマシンは通常の吹付け機械と同じであるが，吹付けロボットに該当するブームの先端に取付けられた遠心力吹付け装置の基本構造は，**図－3.2.12** に示すように次の①～③から構成される。



図－3.2.12　遠心力吹付け装置の基本構造図

① コンクリートポンプよりコンクリートを受け入れるコンクリート供給管と急結剤を導く急結剤供給管よりなる材料供給部
② 低速回転するコーン型内筒管及び高速回転する撹拌翼よりなる混合撹拌部
③ 高速回転するインペラにより遠心力を利用して，混合された吹付けコンクリートを目的の地山方向に投射して吹付ける吐出部

吹付け作業における留意点としては，次のとおりである。

・ブーム先端の遠心力吹付け装置までポンプより圧送されてきたコンクリートは，台車搭載の粉体急結剤供給装置よりホースで圧送されてきた粉体急結剤と，混合撹拌部にて強制撹拌されながら吐出部に移送され，高速回転するインペラにより投射され吹付けられる。
・このときの投射速度はインペラの回転数に比例し，吹付け状況により投射速度を適切に設定することができる。これまでの実績よりインペラの回転数としては，1,000～1,500 回転の範囲とすることが多い。
・同様にコーン型内筒管の回転数は，混合状況から設定することができ，0 回転から 150 回転の範囲とすることが多い。
・ノズルと吹付け面（地山）との離隔距離は，1.0m～1.5m が適切である。
・吹付け作業終了後は，コンクリートポンプと遠心力吹付け装置を台車常設の高圧水洗浄機で洗浄する。

写真－3.2.12 に吹付け作業状況を示す。

なお，遠心力吹付け装置の消耗部品として，エンドレスベルトを吹付け量 100m³ 程度で，また，ノズルおよびインペラブレード等の超硬部品を 500～2,000m³ 程度で交換することが多い。



写真－3.2.12　ダストレス吹付け機械による吹付け状況

3.2.7　エアレス吹付け機械にスラリー急結剤を用いた施工法

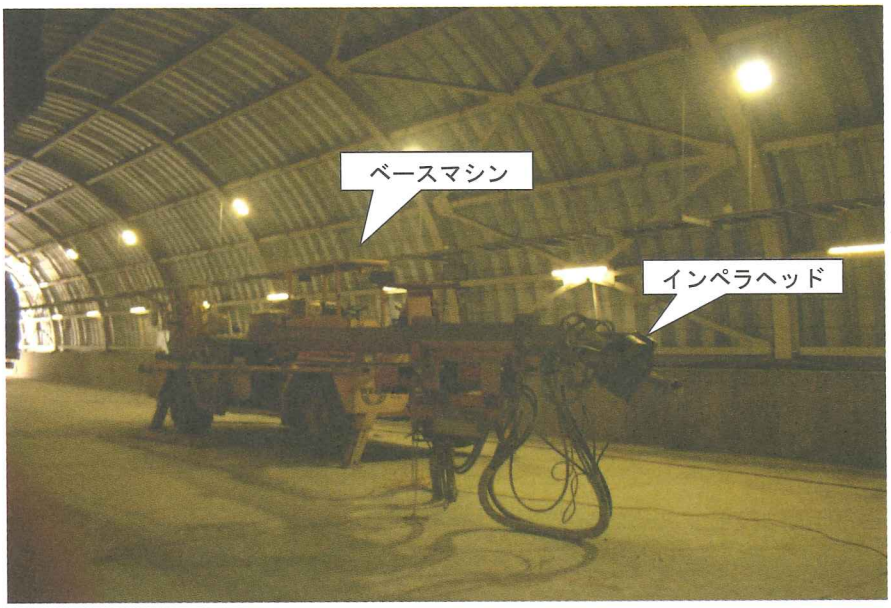
(1)　エアレス吹付け機械は，インペラ駆動および制御のための装置を備え付けていなければならない。また，吹付け施工時には，あらかじめインペラの回転数が十分確保できることを確認しなければならない。そして，吹付け終了時には，決められた手順により停止し，打撃投射吹付け装置の洗浄を行わなければならない。

(2)　この吹付け機械でスラリー急結剤を用いた場合には，専用急結剤およびシステムを使用して適切な水急結剤比として標準添加率で使用し，スラリー急結剤とコンクリートとの混合が確実であることを確認した上で施工しなければならない。また，ベースコンクリート練混ぜ時に所定の急結助剤が適切に混入され，ブーム先端まで配管供給できるコンクリートを使用しなければならない。

(3)　インペラ駆動装置は，所定の頻度において消耗部品の交換を行い，常に安定した吹付け施工を確保しなければならない。

(1)について：　エアレス吹付け機械の打撃投射吹付け装置（以下インペラヘッドという）は，ベースマシンを通常のポンプ圧送式の吹付け機械として，そのブーム先端に搭載することができるものである。打撃投射タイプの吹付け機械を**写真－3.2.13**に示す。なお，インペラヘッドの仕様は**表－3.2.2**に示すとおりであり，比較的軽量であることが特徴である。

この吹付け機械でスラリー急結剤を用いる場合には，**表－3.2.3**に示す構成システムが必要となる。なお，スラリー急結剤添加装置には急結剤添加用として37kW程度の空気圧縮機が必要となる。



写真－3.2.13　エアレス吹付け機械の例

表－3.2.2　インペラヘッドの仕様

項　　目	規格・寸法
最大吹付け量	20m³/h
インペラ径	300mm
投入管径	65mm
投射口寸法	80×104mm
総　重　量	65kg
負荷時最大回転数	2,500rpm（油圧モータ使用）

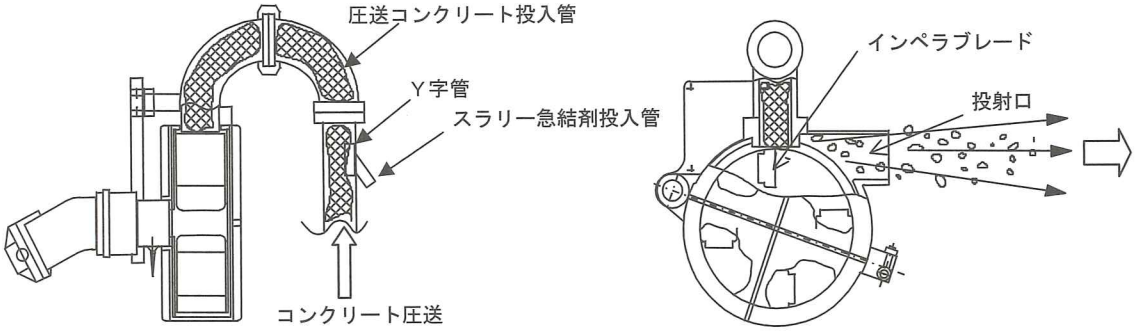
表－3.2.3　エアレス吹付け機械の構成

構成システム	概　　要
コンクリート圧送系	コンクリートポンプ圧送システム
インペラ回転系	インペラヘッド，油圧ユニット，インペラ回転数制御盤
急結剤供給系	スラリー急結剤添加装置，空気圧縮機（37kW）

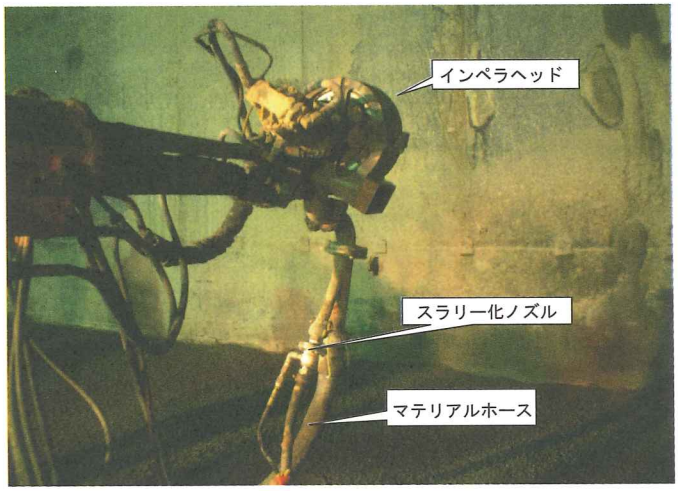
エアレス吹付け機械は，投入管より供給されたコンクリートをインペラブレードにより打撃して投射するため，インペラ回転数が吹付けコンクリートの付着性およびはね返り率に与える影響が大きい。そのため，吹付け前に十分な回転数が確保されていることを確認する必要がある。これまでの実績では2,000rpm程度の回転数とすることが多い。

インペラヘッドの洗浄にあたっては，吹付け作業終了時にインペラはそのままの回転状態とした上でコンクリートの供給を止める。そして，急結剤圧送用エアとスラリー化水を送り込みながら粉体急結剤の供給を止めた後，エアと水でインペラヘッドの内部を洗浄する。次に，インペラの回転を止めてケーシングを開き，高圧水洗浄機等で洗浄する。このとき圧送コンクリート投入管についても高圧水洗浄機で丹念に洗浄する。なお，次の吹付け作業に支障をきたさないためにも洗浄は早めに実施する必要がある。また，可能ならば切羽よりベースマシンを後退させる前に実施することが望ましい。

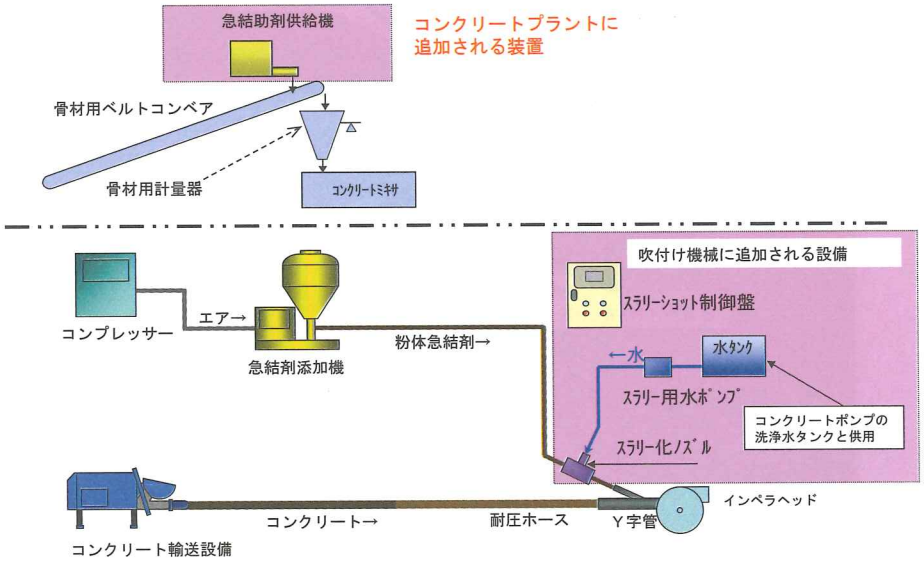
(2)について：　この吹付け機械でスラリー急結剤を用いた吹付けコンクリートの配合は，前記2.2.7で示した配合を用いる。スラリーショットシステムについては前記3.2.2の(1)と同じ。ただし，エアレス吹付け機械においてスラリー急結剤は，**図－3.2.13**および**写真－3.2.14**に示すようにインペラヘッド手前のコンクリート投入管に取付けられたＹ字管直前まで粉体状態の急結剤がエア搬送され，Ｙ字管部分にてスラリー化水と混合されてコンクリートに添加される。したがって，混合距離が短いので吹付け開始前には投射されるコンクリートの性状を目視観察し，スラリー急結剤が十分混合されていることを確認してから吹付けする必要がある。また，**図－3.2.14**にスラリー急結剤添加装置とコンクリートプラントへの追加設備を示す。なお，ベースコンクリートの練混ぜは前記3.2.2の(2)と同じであるが，エアレス吹付け機械はほぐしエアを用いない方式であるため，コンクリートはブーム先端まで配管供給できるための十分な圧送性を有した現場配合とする必要がある。



図－3.2.13　スラリー急結剤を使用する場合のインペラヘッドへの配管



写真－3.2.14　インペラヘッドへの配管状況



図－3.2.14　スラリー急結剤添加装置とコンクリートプラント追加設備の概要

(3)について： エアレス吹付け機械は，インペラブレードでコンクリートを打撃して投射するため，その吹付け性状および粉じん発生状況はブレードおよびケーシングの摩耗状況に大きく左右される。したがって，安定した吹付け性能を確保するためには，所定の頻度によって摩耗品を交換する必要があり，**表－3.2.4** に消耗部品の交換目安を示す。

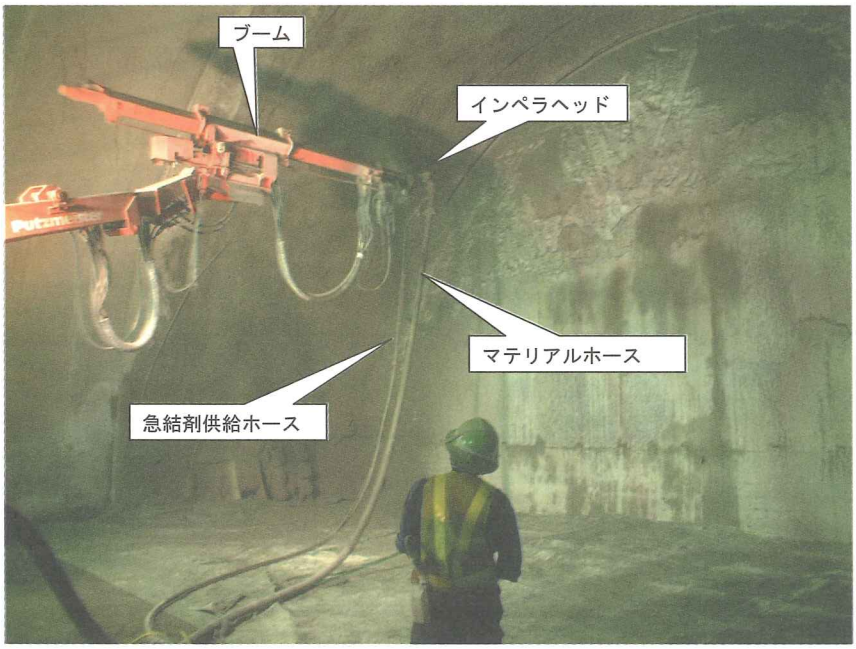
表－3.2.4　消耗品の交換目安（吹付け量 12m³/h の場合）

種　　別	交換頻度（時間／回）	交　換　方　法
インペラブレード	20	ボルトの取外し・締込み・調整
ケーシングライナー	60	インペラおよびケーシングの予備カセットごとに交換（交換所要時間約 15 分/回）
投入口超鋼材	60	
インペラ内部超硬材	125	
ケーシング超硬ライニング	125	

同様に，スラリー急結剤添加装置についても一部消耗品があるため同様に交換が必要となる。消耗品を**表－3.2.5** に示す。また，**写真－3.2.15** に吹付け状況を示す。

表－3.2.5　スラリー急結剤添加装置消耗品

消　耗　品　名
スラリー化装置
水ノズルセット
急結剤Y字管セット



写真－3.2.15　スラリー急結剤を用いたエアレス吹付け機械による吹付け状況

3.2.8　エアレス吹付け機械に液体急結剤を用いた施工法

(1)　エアレス吹付け機械は，インペラ駆動および制御のための装置を備え付けていなければならない。また，吹付け施工時には，あらかじめインペラの回転数が十分確保できることを確認しなければならない。そして，吹付け終了時には，決められた手順により停止し，インペラヘッド部の洗浄を行わなければならない。

(2)　この吹付け機械で液体急結剤を用いた場合には，あらかじめ液体急結剤添加用ポンプのキャリブレーションを行い，確実に所定の添加率となるように添加用ポンプの吐出量を管理し，液体急結剤の噴射状況を確認した上で施工を実施しなけらばならない。また，ブーム先端まで配管供給出来るコンクリートを使用しなければならない。

(3)　インペラ駆動装置は，所定の頻度において消耗部品の交換を行い，常に安定した吹付け施工を確保しなければならない。

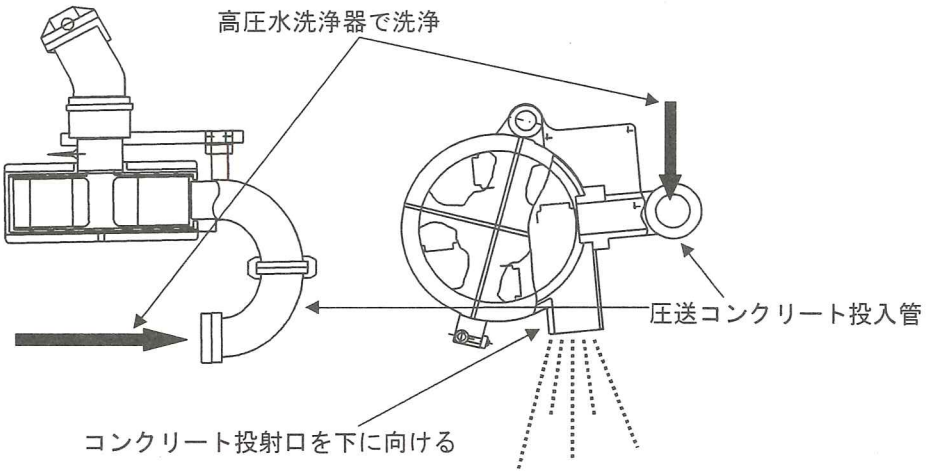
(1)について：　エアレス吹付け機械で液体急結剤を用いる場合の吹付け機械および所要のインペラ回転数は，前記3.2.7の(1)と同様である。ただし，吹付け機械の構成システムのうち急結剤供給系が異なる（**表−3.2.6**）。

表−3.2.6　エアレス吹付け機械の構成

構成システム	概　　要
コンクリート圧送系	コンクリートポンプ圧送システム
インペラ回転系	インペラヘッド，油圧ユニット，インペラ回転数制御盤
急結剤供給系	液体急結剤添加専用ポンプおよびタンク，急結剤噴射ノズル

吹付け終了にあたっては，インペラを回転させたままコンクリートの吐出を停止した後，液体急結剤の供給を停止し，インペラヘッド内部に残ったコンクリートが十分排出されたことを確認した上でインペラの回転を止める。洗浄にあたっては，インペラヘッドに接続されているマテリアルホースをはずし，**図−3.2.15**に示すように，インペラヘッドのコンクリート投射口を下に向けてインペラを再度回転させながら圧送コンクリート投入管の端に高圧水洗浄機のノズルを挿入し，インペラヘッド内部を洗浄する。なお，液体急結剤の添加はインペラヘッドの外で行われるため，内部に残るコンクリートはフレッシュ状態である。したがって，吹付け終了直後に急結剤によってインペラヘッド内部に硬化したコンクリートが固着することはないが，次の吹付け作業のためにインペラヘッドはケーシングを開けて丹念に洗浄する必要がある。

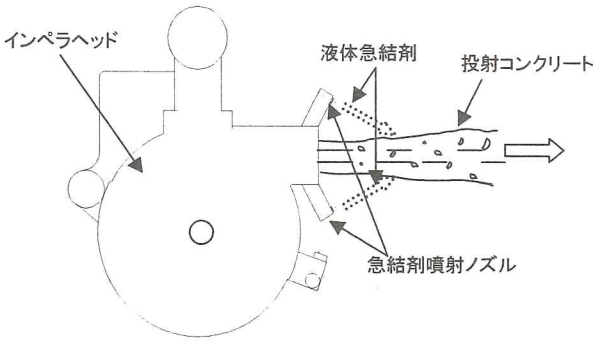
また，液体急結剤は，放置すると結晶化することがあり，それが供給配管および急結剤噴射ノズルに固着し，次の吹付け作業に支障をきたす事がある。この場合には，吹付け終了後急結剤の替わりに水を送り込み，供給配管と急結剤噴射ノズルを十分洗浄する必要がある。



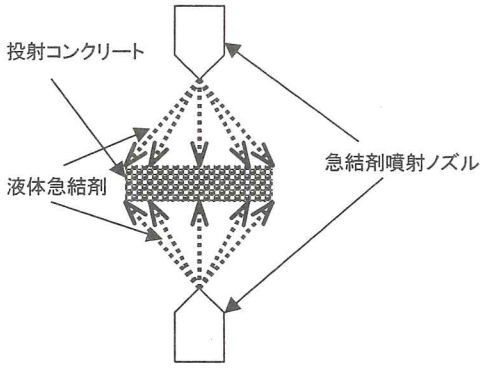
図－3.2.15　インペラヘッドの洗浄方法

(2)について：　この吹付け機械で液体急結剤を用いた吹付けコンクリートの配合は，前記2.2.8で示した配合を用いる。液体急結剤の添加は，**図－3.2.16**に示すように打撃投射されるコンクリートに対して急結剤噴射ノズルより液体急結剤を噴射させて添加する方法となっており，液体急結剤は専用のポンプによって配管を通って噴射ノズルまで圧送される。施工にあたっては，**図－3.2.17**に示すように液体急結剤の噴射形状が扇状となり投射コンクリートに万遍なく噴射されていることを確認することが必要である。**写真－3.2.16**に液体急結剤の噴射状況を示す。

急結剤用ポンプの吐出量は毎分当りの量（ℓ/min）で示される。また，コンクリートの吐出量は時間当りの量で示され，液体急結剤の添加率は単位セメント量に対する質量%（コンクリート1m³に対する質量）で設定される。したがって，これらの関係から以下の式（3-4）を用いて液体急結剤の吐出量を決定する必要がある。なお，急結剤用ポンプは事前に十分なキャリブレーションを行って使用する。



図－3.2.16　急結剤の添加状況



図－3.2.17　急結剤の最適な噴射形状

$$Qa = \{(Qc/60) \times C \times (Aq/100)\} \div \rho_A \quad \cdots\cdots\cdots (3\text{-}4)$$

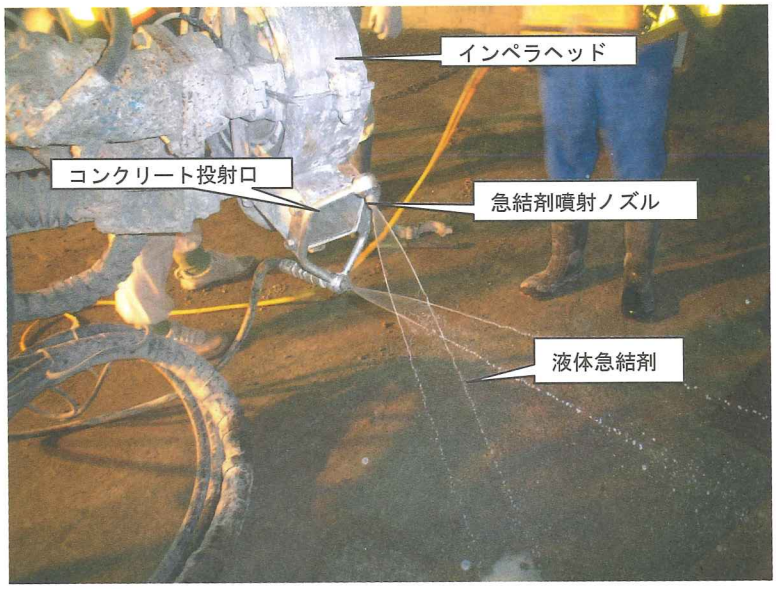
Qa：液体急結剤吐出量（ℓ/min）

Qc：コンクリート吐出量（m³/h）

C：単位セメント量（kg/m³）

Aq：液体急結剤添加率（%）

ρ_A：液体急結剤の比重（kg/ℓ）



写真－3.2.16　噴射ノズルから噴射される液体急結剤の状況

(3)について：　前記3.2.7の(3)と同じ。

3.2.9　局所集じんシステムを用いた施工法

(1)　局所集じんシステムを用いた吹付けでは，吹付け作業の支障とならない範囲で，局所集じん機をできるだけ切羽に近づけて配置しなければならない。

(2)　吹付け時には，効率よく集じんするためにエアカーテンを発生させ，さらに，このカーテンを壊さないために切羽付近に到達する風量を分岐風管により適度にしなければならない。

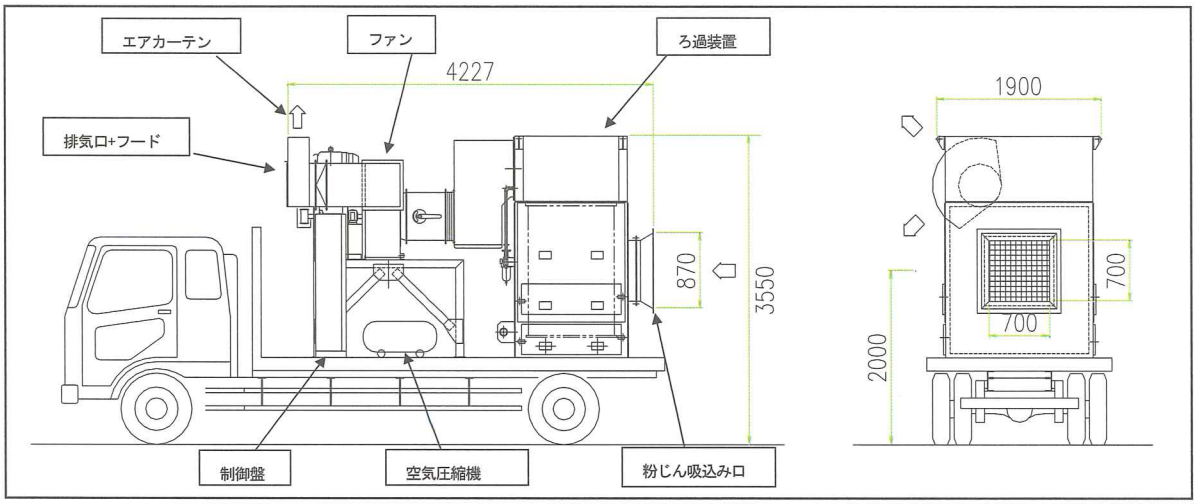
(1)について：　局所集じん機を用いた場合には，基本的には吹付けコンクリートに用いる急結剤の種別を問わないが，前記2.2.9で示した配合を用いることが多い。局所集じんシステムに用いる局所集じん機の仕様例を以下に示す（**表－3.2.7**，**写真－3.2.17**，**図－3.2.18**）。

表－3.2.7　局所集じん機の仕様例

集じん方式	ろ過式
フィルタ形式	プラスチック焼結体
処理能力	250m³/min×3.43kPa
本体重量	2,900kg
ファン電源	440V　22kW
積載車両	4t車



写真－3.2.17　局所集じん機の例



図－3.2.18　局所集じん機詳細図の例

局所集じん機は，粉じん吸込み口，ろ過装置，ファン，排気口，空気圧縮機（フィルタ逆洗エア用）から構成され，排気口に専用のフードを取付けて，方向を変えることにより排気カーテンとする。なお，機器はトラックの荷台に固定されており，電源ケーブルは配置後に接続する必要がある。

吹付け時には，局所集じん機の粉じん吸込み口を切羽側に向け，吹付け機の横に配置する（**図－3.2.19**）。集じん対象となるエアカーテンと切羽で囲まれた空間（以下本項では，集じんエリアという）を小さくする方が粉じんを封じ込め易く，その結果集じん効率が上がるため，局所集じん機をできるだけ切羽に近づけた方がよい。施工性や安全性を考慮した上で局所集じん機を切羽にできるだけ近づけた場合，その排気カーテンの位置は切羽から 10～12m 程度となる。

局所集じん機の必要能力は集じんエリアによって異なるが，模擬トンネルや現場試験での検証結果から，現時点での掘削断面積に対する局所集じん機の規格は**表－3.2.8** に示すとおりである。

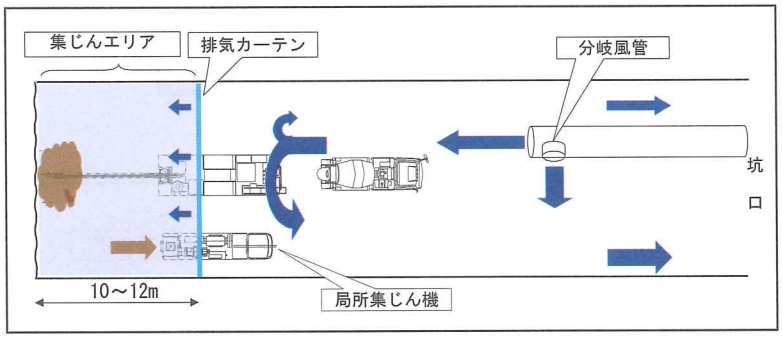
表－3.2.8　局所集じん機の規格

掘削断面積（m^2）	局所集じん機規格（m^3/min）	出力（kW）	摘要
60～80	250	27.5	出力には，フィルタ逆洗用空気圧縮機の出力 5.5kW を含む

局所集じんシステムを用いた吹付けの施工は，次の手順で行う。

①局所集じん機の設置→②吹付け機械の設置→③アジテータトラックの配置→④局所集じん機稼動→⑤吹付け開始→⑥吹付け終了→⑦局所集じん機停止→⑧アジテータトラック出抗→⑨吹付け機移動→⑩局所集じん機移動

吹付け状況を**写真－3.2.18** に示す。



図－3.2.19　局所集じんシステムの配置

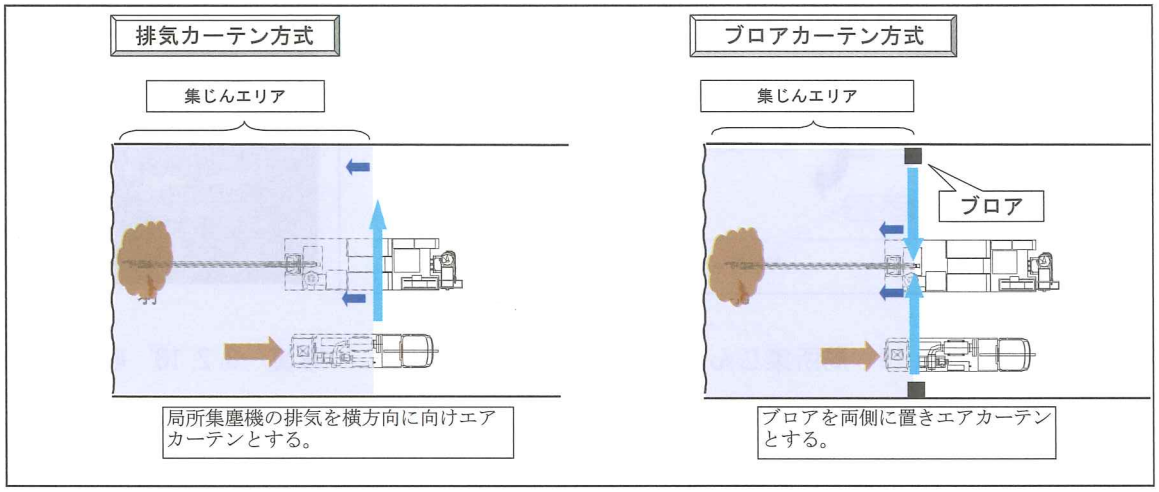


写真－3.2.18　吹付け作業状況

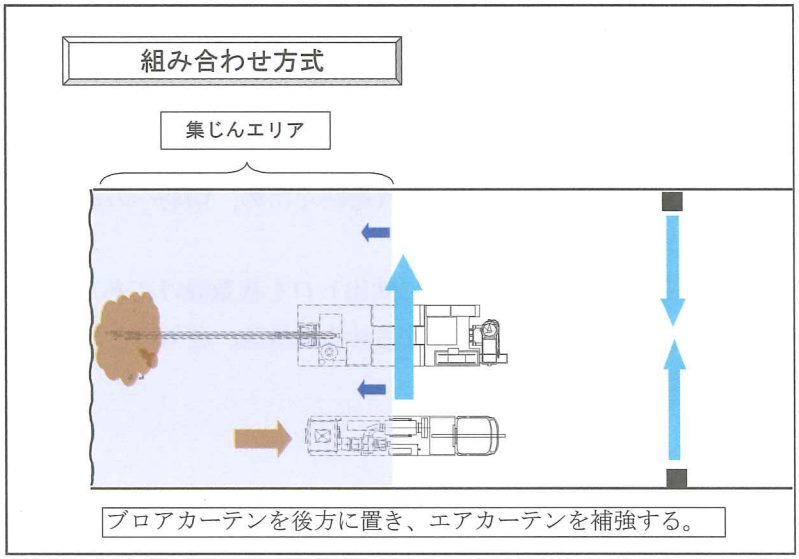
(2)について：　切羽で発生した粉じんの拡散を防ぎ，集じん効果をあげるためエアカーテンを用いる。エアカーテンは，**図－3.2.20** に示すように集じん機の排気を用いるもの（排気カーテン方式）と，専用のブロアを用いるものがある（ブロアカーテン方式）。また，両者を併用する組み合せ方式（この場合，ブロアカーテンは切羽より 30m 付近に設置する）とすることにより，効率よくエアカーテン効果をあげることができる。なお，エアカーテンを切羽に近づけすぎると粉じんを舞い上げることとなり，逆効果となる場合がある。

さらに，局所集じんシステムでは換気による切羽への送風が強いとエアカーテンを壊してしまい，集じんエリア内から粉じんの流出が生じる。これを防ぐため，切羽への送気量を制限できる分岐風管を併用する（**写真－3.2.19**）。

分岐風管は，**図－3.2.21** のように風管側面に吹出し口を複数設けてあり，切羽方向とは別にトンネル断面方向に風を送り出すことができる。分岐させる風量は，送気口と分岐口の開度を調整することにより任意の設定が可能である。



(a)　排気カーテン方式　　(b) ブロアカーテン方式



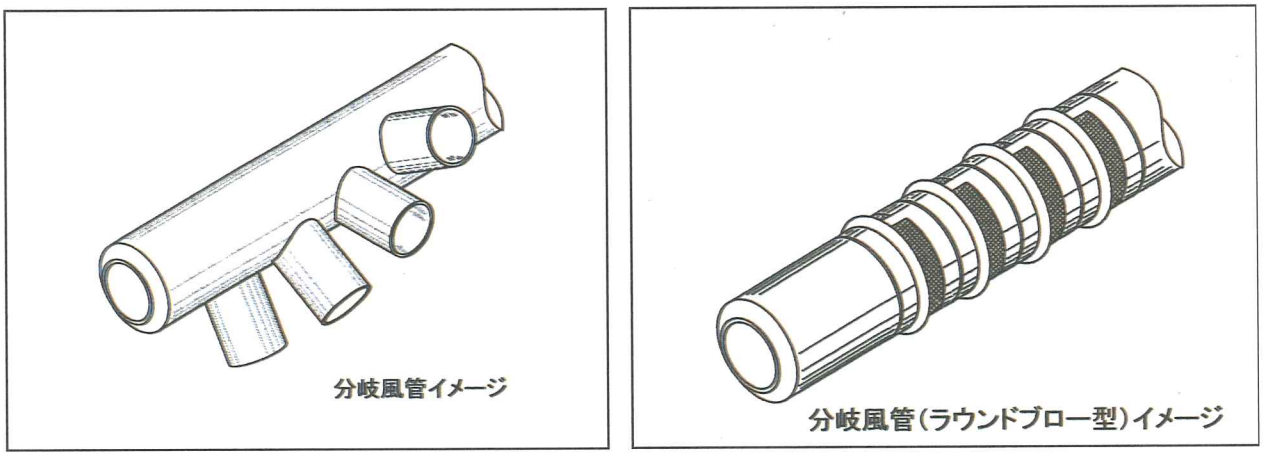
(c)　組み合せ方式

図－3.2.20　エアカーテン方式の種類

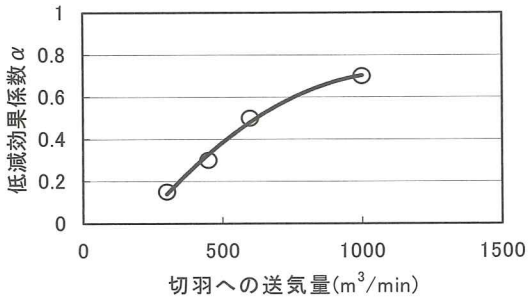
図－3.2.22 は，模擬トンネルにおいて局所集じん機（集じん量 250m³/min）を用いた試験で得られた切羽への送気量と式（2-1）のαの関係を示したものであり，分岐風管により切羽への送気量を絞るほどカーテン効果が大きいことがわかる。ただし，切羽への送気量を下げ過ぎると温度上昇等の作業環境の悪化が考えられるため，切羽への送気量としては，α=0.5 に相当する 600m³/min 程度が目安となる。



写真－3.2.19　分岐風管



図－3.2.21　分岐風管の例



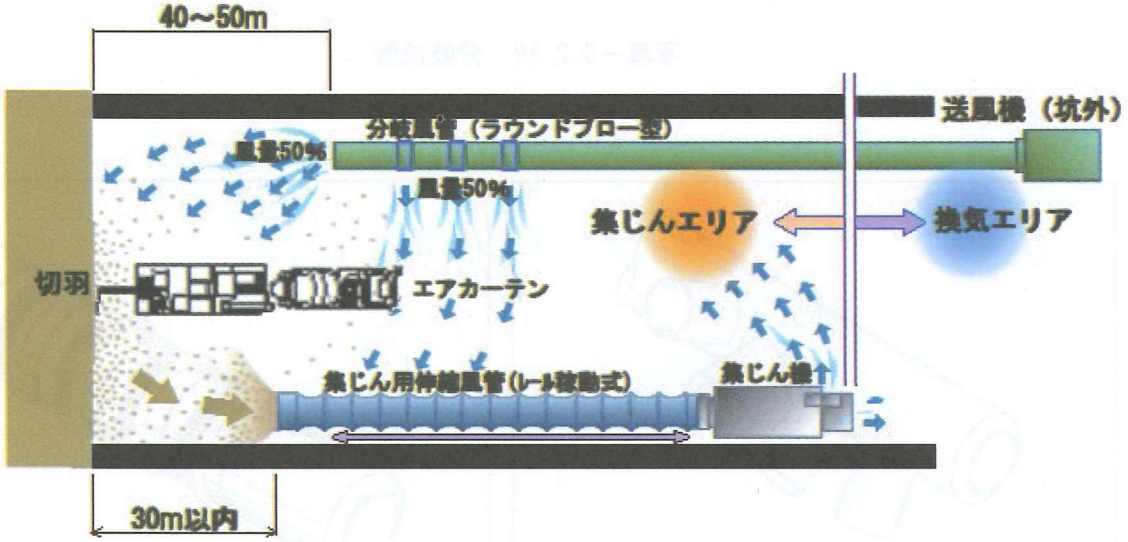
図－3.2.22　切羽への送気量と式（2-1）のαの関係の例

3.2.10　伸縮風管システムを用いた施工法

伸縮風管システムを用いた吹付けでは，吹付け作業の支障とならない範囲で，大型集じん機に連結した伸縮風管吸込み先端をできるだけ切羽に近づけて配置するとともに，分岐風管の併用により切羽への風量を制御して，効果的に集じんしなければならない。

伸縮風管システムを用いた場合には，基本的には吹付けコンクリートに用いる急結剤の種別を問わないが，前記 2.2.10 で示した配合を用いることが多い。

このシステムは，切羽で発生した濃度の高い粉じんを切羽付近まで伸ばした伸縮風管で吸込み，大型集じん機で処理することにより粉じんの後方拡散防止を目的としている。そして，通常は発生粉じんを捕集・処理する「集じんエリア」と，集じん設備は必要とせず必要換気量のみ送気すればよい集じんエリアから後方の「換気エリア」に区分して計画される（**図－3.2.23**）。



図－3.2.23　伸縮風管システムを用いた施工概要

システムの主要設備は，大型集じん機と集じん機吸込み口に接続する伸縮可能なリング付ビニル風管（伸縮風管）及び坑外に設置する送風機と送気風管先端に接続する風向・風量を制御可能な分岐風管から成る送風設備で構成される（**図－3.2.24～図－3.2.25，写真－3.2.20～写真－3.2.21**）。

そして，このシステムで吹付け作業時の発生粉じんを処理する場合の必要換気量は，次の式で示される。

〔吹付作業時の必要換気量〕＝〔切羽作業員の呼気量〕＋〔アジテータトラックの排出ガス希釈量〕＋〔後方作業の必要換気量〕

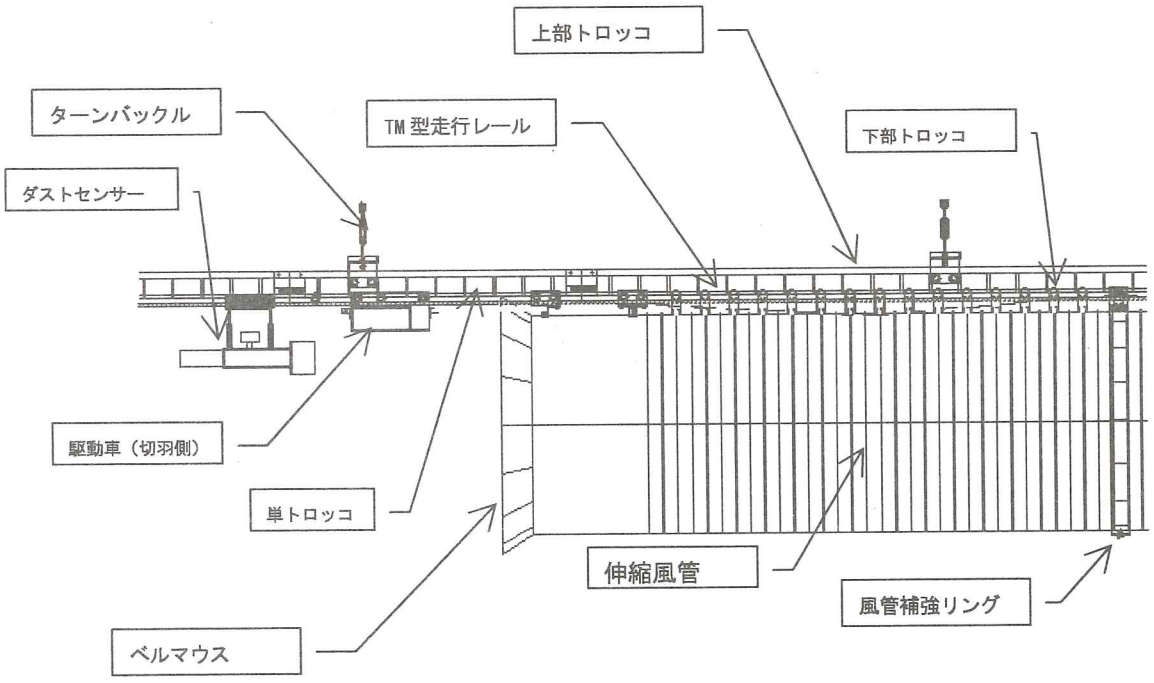
吹付け作業時にはずり積み，ずり出し作業時より送風量を少なく調整し（例えば 600m³/min 程度），送られる清浄な空気は，送気風管先端に取付けられた分岐風管によって，切羽方面とトンネル断面方

向に分岐して送風し，分岐風によってエアカーテンゾーンを形成する。これにより，切羽で発生した高濃度粉じんは，集じん機に接続された伸縮風管を粉じん発生作業近傍まで近付けることで効率的に吸引・捕集されるとともに，伸縮風管で吸引されず後方に拡散した一部の漏洩粉じんも，このエアカーテンにより捕捉され，全体的に伸縮風管吸引口へと導かれ吸引される。通常，分岐する風量の比率は 50：50 として用いる場合が多い。

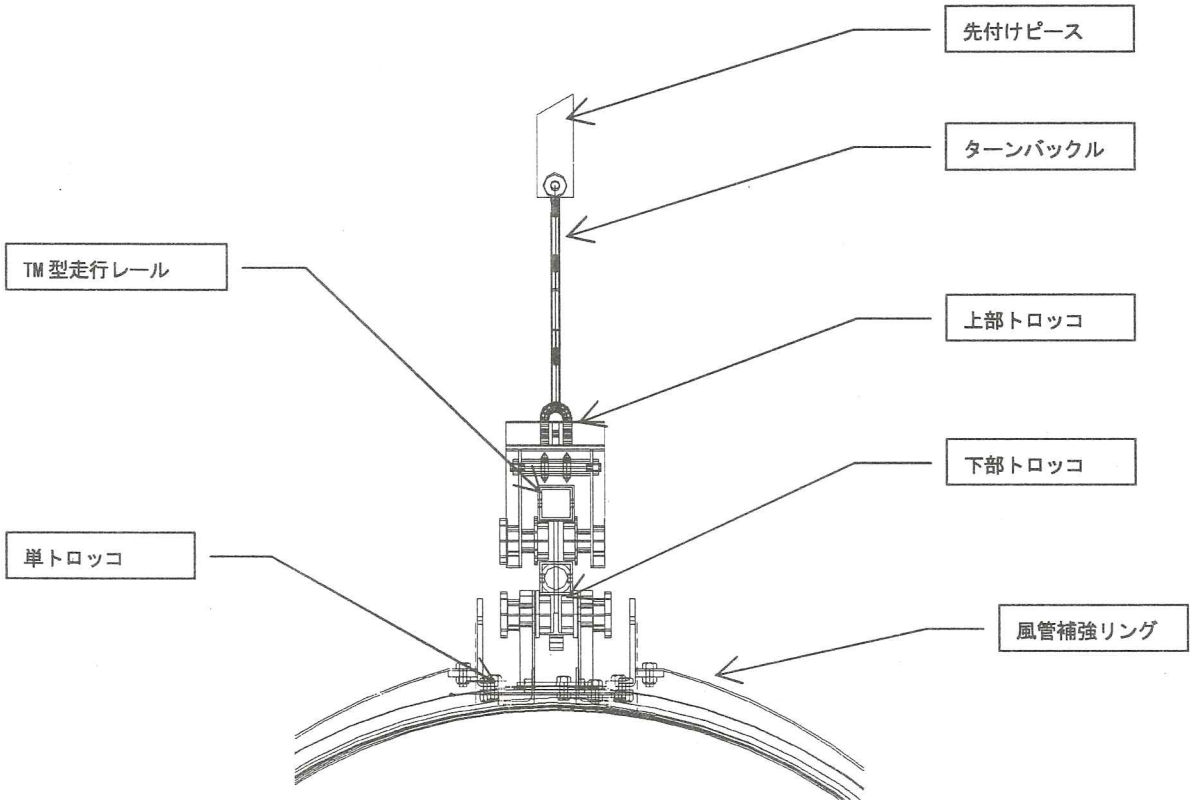
さらに，より良い集じん効果を得るためには，伸縮風管の吸引口を分岐風管先端より切羽側に設置することが基本であり，吸込み口は切羽より 30m以内とし，送風口は切羽より 40～50m程度離した位置とすることが多い。

なお，このシステムは吹付け作業だけでなく，機械掘削や発破及びずり出し等すべての粉じん作業にも適用可能であり，急勾配・急曲線に対応し，リモコンによる伸縮が可能（縮時は全長が 1/3 程度になる）である。

伸縮風管システムの概要とレール延伸（延長）方法を**表－3. 2. 9** および**表－3. 2. 10** に示す。



図－3. 2. 24　伸縮風管詳細図（側面）



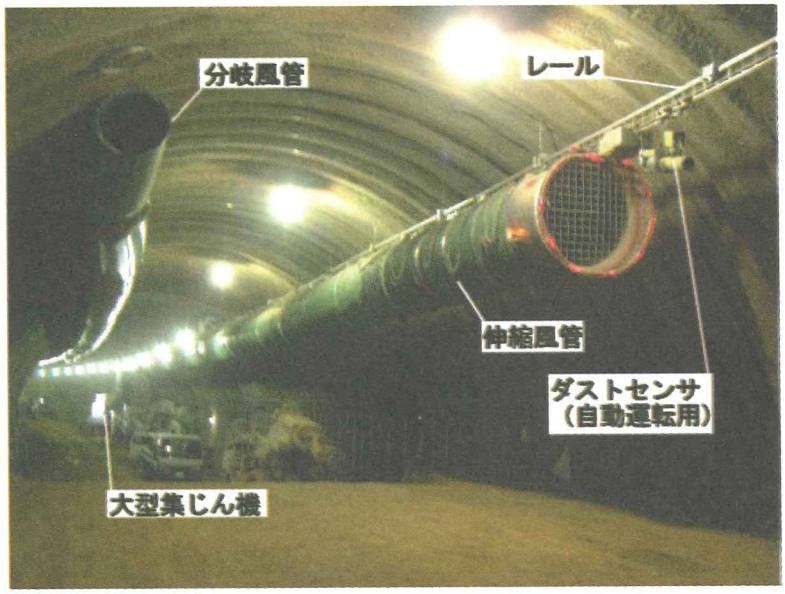
図－3.2.25　伸縮風管の懸垂部分図（正面）

表－3.2.9　伸縮風管の作業手順(1)

レール延伸（切羽進捗に伴うレール全体の移動）および延長方法	
手順1	坑壁に先付けピースを取付け，ターンバックルと上部トロッコを架設する
手順2	駆動車を坑壁に固定し，駆動車が動かないようにする（レール延伸時のみ）
手順3	走行レールストッパーを外しレールを全開放状態にする（レール延長時はレールを取付け，上部トロッコに差し込む）
手順4	レール進行方向の安全を確認する
手順5	レールに走行の支障になる障害物が無いかを確認する
手順6	走行ボタン“逆走”を押す（駆動車が固定されているのでレール全体が切羽方向に動く）
手順7	順次レールを上部トロッコに差し込んでいく
手順8	所定の位置で停止し，各ストッパーを取付け，駆動車を解放する

表－3.2.10　伸縮風管の作業手順(2)

レール延伸・延長後の全体盛替え方法	
手順1	集じん機と伸縮風管を接続用リング風管のファスナーで切り離す。
手順2	駆動車（集じん機側）を動かして伸縮風管を縮める。
手順3	完全に風管を縮めたことを確認し，集じん機を移動させる。
手順4	集じん機と伸縮風管を接続用リング風管のファスナーで接続する。
全体盛替え・レール延伸を繰り返し切羽の進捗に対応する。	



写真－3.2.20　伸縮風管の例（風管先端部）



写真－3.2.21　伸縮風管の例（集じん機部）

＜参考文献＞

1) 山口「トンネルの吹付けコンクリート」, p. 100, 平成 8 年 2 月, (社) 日本トンネル技術協会

2) 野間ほか「急結剤の有無による発生粉じんの違いについて－異なる吹付け方式の場合－」, 土木学会年第 59 回年次学術講演会講演概要集, pp. 759–pp. 760, 平成 16 年 9 月

(資料-1)

基発第768号-2（平成12年12月26日）

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

第1 趣　　旨

本ガイドラインは，ずい道等建設工事における粉じん対策に関し，粉じん障害防止規則（昭和54年労働省令第18号）に規定された事項及び第5次粉じん障害防止総合対策において推進することとしている事項等について，その具体的実施事項を一体的に示すことにより，ずい道等建設工事における粉じん対策のより一層の充実を図ることを目的とする。

第2 適　　用

本ガイドラインは，ずい道等（ずい道及びたて坑以外の坑（採石法（昭和25年法律第291号）第2条に規定する岩石の採取のためのものを除く。）をいう。以下同じ。）を建設する工事（以下「ずい道等建設工事」という。）であって，掘削，ずり積み，ロックボルトの取付け，コンクリート等の吹付け等，その実施に伴い粉じんが発生する作業を有するずい道等建設工事に適用する。

ただし，作業の自動化等により，労働者がずい道等の坑内に入らないずい道等建設工事には，適用しない。

第3 事業者の実施すべき事項

1 粉じん対策に係る計画の策定

事業者は，ずい道等建設工事を実施しようとするときは，事前に，粉じんの発散を抑制するための粉じん発生源に係る措置，換気装置等による換気の実施等，換気の実施等の効果を確認するための粉じん濃度等の測定，防じんマスク等有効な呼吸用保護具の使用，労働衛生教育の実施，その他必要な事項を内容とする粉じん対策に係る計画を策定すること。

2 粉じん発生源に係る措置

事業者は，坑内の次の作業において，それぞれの定めるところにより，粉じんの発散を防止するための措置を講じること。ただし，湿潤な土石又は岩石を掘削する作業，湿潤な土石の積込み又は運搬を行う作業及び水の中で土石又は岩石の破砕，粉砕等を行う作業にあっては，この限りでないこと。

(1) 掘削作業

イ 発破による掘削作業

（イ）せん孔作業

くり粉を圧力水により孔から排出する湿式型の削岩機（発泡によりくり粉の発散を防止するものを含む。）を使用すること又はこれと同等以上の措置を講じること。

（ロ）発破作業

発破後は，安全が確認されたのち，粉じん濃度が低減するまで，立ち入らないこと。

ロ 機械による掘削作業（シールド工法及び推進工法による掘削作業を除く。）

次に掲げるいずれかの措置又はこれと同等以上の措置を講じること。

（イ）湿式型の機械装置を設置すること。

（ロ）土石又は岩石を湿潤な状態に保つための設備を設置すること。

ハ シールド工法及び推進工法による掘削作業

次に掲げるいずれかの措置又はこれと同等以上の措置を講じること。

（イ）湿式型の機械装置を設置すること。

（ロ）密閉型のシールド掘削機等切羽の部分が密閉されている機械装置を設置すること。

（ハ）土石又は岩石を湿潤な状態に保つための設備を設置すること。

(2) ずり積み等作業

イ 破砕・粉砕・ふるいわけ作業

次に掲げるいずれかの措置又はこれと同等以上の措置を講じること。

（イ）密閉する設備を設置すること。

（ロ）土石又は岩石を湿潤な状態に保つための設備を設置すること。

ロ ずり積み及びずり運搬作業

土石を湿潤な状態に保つための設備を設置すること又はこれと同等以上の措置を講じること。

(3) ロックボルトの取付け等のせん孔作業及びコンクリート等の吹付け作業

イ せん孔作業

くり粉を圧力水により孔から排出する湿式型の削岩機（発泡によりくり粉の発散を防止するものを含む。）を使用すること又はこれと同等以上の措置を講じること。

ロ コンクリート等の吹付け作業

次に掲げる措置を講じること。

（イ）湿式型の吹付け機械装置を使用すること又はこれと同等以上の措置を講じること。

（ロ）必要に応じ，コンクリートの原材料に粉じん抑制剤等を入れること。

（ハ）吹付けノズルと吹付け面との距離，吹付け角度，吹付け圧等に関する作業標準を定め，労働者に当該作業標準に従って作業させること。

(4) その他

イ たい積粉じんの発散を防止するため，坑内に設置した機械設備，電気設備等にたい積した粉じんを定期的に清掃すること。

ロ 建設機械等の走行によるたい積粉じんの発散を少なくするため，次の事項の実施に努めること。

（イ）走行路に散水すること，走行路を仮舗装すること等粉じんの発散を防止すること。

（ロ）走行速度を抑制すること。

（ハ）過積載をしないこと。

ハ 必要に応じ，エアカーテン等，切羽等の粉じん発生源において発散した粉じんが坑内に拡散しないようにするための方法の採用に努めること。

ニ 坑内で常時使用する建設機械については，排出ガスの黒煙を浄化する装置を装着した機械を使用することに努めること。

なお，レディミキストコンクリート車等外部から坑内に入ってくる車両については，排気ガスの排出を抑制する運転方法に努めること。

3 換気装置等（換気装置及び集じん装置をいう。以下同じ。）による換気の実施等

(1) 換気装置による換気の実施

事業者は，坑内の粉じん濃度を減少させるため，次に掲げる事項に留意し，換気装置による換気を行うこと。

イ 換気装置（風管及び換気ファンをいう。以下同じ。）は，ずい道等の規模，施工方法，施工条件等を考慮した上で，坑内の空気を強制的に換気するのに最も適した換気方式のものを選定すること。

なお，換気方式の選定に当たっては，発生した粉じんの効果的な排出・希釈及び坑内全域における粉じん濃度の低減に配慮することが必要であり，送気式換気装置，局所換気ファンを有する排気式換気装置，送・排気併用式換気装置，送・排気組合せ式換気装置等の換気装置が望ましいこと。

ロ 送気口（換気装置の送気管又は局所換気ファンによって清浄な空気を坑内に送り込む口のことをいう。以下同じ。）及び吸気口（換気装置の排気管によって坑内の汚染された空気を吸い込む口のことをいう。以下同じ。）は，有効な換気を行うのに適正な位置に設けること。

また，ずい道等建設工事の進捗に応じて速やかに風管を延長すること。

ハ 換気ファンは，風管の長さ，風管の断面積等を考慮した上で，十分な換気能力を有しているものであること。

なお，風量の調整が可能なものが望ましいこと。

ニ 送気量及び排気量のバランスが適正であること。

ホ 粉じんを含む空気が坑内で循環又は滞留しないこと。

ヘ 坑外に排気された粉じんを含む空気が再び坑内に逆流しないこと。

ト 風管の曲線部は，圧力損失を小さくするため，できるだけ緩やかな曲がりとすること。

(2) 集じん装置による集じんの実施

事業者は，必要に応じ，次に掲げる事項に留意し，集じん装置による集じんを行うこと。

イ 集じん装置は，ずい道等の規模等を考慮した上，十分な処理容量を有しているもので，粉じんを効率よく捕集し，かつ，吸入性粉じんを含めた粉じんを清浄化する処理能力を有しているものであること。

ロ 集じん装置は，粉じんの発生源，換気装置の送気口及び吸気口の位置等を考慮し，発散した粉じんを速やかに集じんすることができる位置に設けること。

なお，集じん装置への有効な吸込み気流を作るため，局所換気ファン，隔壁，エアカーテン等を設置することが望ましいこと。

ハ 集じん装置にたい積した粉じんを廃棄する場合には，粉じんを発散させないようにすること。

(3) 換気装置等の管理

イ 換気装置等の点検及び補修等

事業者は，換気装置等については，半月以内ごとに１回，定期に，次に掲げる事項について点検を行い，異常を認めたときは，直ちに補修その他の措置を講じること。

（イ）換気装置

a 風管及び換気ファンの摩耗，腐食，破損その他損傷の有無及びその程度

b 風管及び換気ファンにおける粉じんのたい積状態

c 送気及び排気の能力

d その他，換気装置の性能を保持するために必要な事項

（ロ）集じん装置

a 構造部分の摩耗，腐食，破損その他損傷の有無及びその程度

b 内部における粉じんのたい積状態

c ろ過装置にあっては，ろ材の破損又はろ材取付け部分等のゆるみの有無

d 処理能力

e その他，集じん装置の性能を保持するために必要な事項

ロ 換気装置等の点検及び補修等の記録

事業者は，換気装置等の点検を行ったときは，次に掲げる事項を記録し，これを3年間保存すること。

（イ）点検年月日

（ロ）点検方法

（ハ）点検箇所

（ニ）点検の結果

（ホ）点検を実施した者の氏名

（ヘ）点検の結果に基づいて補修等の措置を講じたときは，その内容

4 換気の実施等の効果を確認するための粉じん濃度等の測定

(1) 粉じん濃度等の測定

事業者は，換気の実施等の効果を確認するため，半月以内ごとに1回，定期に次の事項について測定を行うこと。

なお，測定は，別紙「換気の実施等の効果を確認するための空気中の粉じん濃度，風速等の測定方法」に従って実施すること。

また，事業者は，換気装置を初めて使用する場合，又は施設，設備，作業工程若しくは作業方法について大幅な変更を行った場合にも，測定を行う必要があること。

イ 空気中の粉じん濃度

ロ 風速

ハ 換気装置等の風量

ニ 気流の方向

(2) 空気中の粉じん濃度の測定結果の評価

事業者は，空気中の粉じん濃度の測定を行ったときは，その都度，速やかに，次により当該測定の結果の評価を行うこと。

イ 粉じん濃度目標レベル

粉じん濃度目標レベルは3mg/m^{3}以下とすること。

ただし，中小断面のずい道等のうち，3mg/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粉じん濃度目標レベルとすること。

ロ 評価値の計算

空気中の粉じん濃度の測定結果の評価値は，各測定点における測定値を算術平均して求めること。

ハ 測定結果の評価

空気中の粉じん濃度の測定結果の評価は，評価値と粉じん濃度目標レベルとを比較して，評価

値が粉じん濃度目標レベルを超えるか否かにより行うこと。

(3) 空気中の粉じん濃度の測定結果に基づく措置

事業者は，評価値が粉じん濃度目標レベルを超える場合には，設備，作業工程又は作業方法の点検を行い，その結果に基づき換気装置の風量の増加，作業工程又は作業方法の改善等作業環境を改善するための必要な措置を講じること。

また，事業者は，当該措置を講じたときは，その効果を確認するため，(1)の粉じん濃度等の測定を行うこと。

(4) 粉じん濃度等の測定等の記録

事業者は，粉じん濃度等の測定及び空気中の粉じん濃度の測定結果の評価を行ったときは，その都度，次の事項を記録して，これを7年間保存すること。

なお，粉じん濃度等の測定結果については，関係労働者が閲覧できるようにしておくことが望ましいこと。

イ 測定日時
ロ 測定方法
ハ 測定箇所
ニ 測定条件
ホ 測定結果
ヘ 測定結果の評価
ト 測定及び評価を実施した者の氏名
チ 評価に基づいて改善措置を実施したときは，当該措置の概要

5 防じんマスク等有効な呼吸用保護具の使用

事業者は，坑内の作業に労働者を従事させる場合には，坑内において，常時，防じんマスク，電動ファン付き呼吸用保護具等有効な呼吸用保護具を使用させるとともに，次に掲げる措置を講じること。

なお，作業の内容及び強度を考慮し，呼吸用保護具の重量，吸排気抵抗等が当該作業に適したものを選択すること。

(1) 保護具着用管理責任者の選任

保護具着用管理責任者を次の者から選任し，呼吸用保護具の適正な選択，使用，顔面への密着性の確認等に関する指導，呼吸用保護具の保守管理及び廃棄を行わせること。

イ 衛生管理者の資格を有する者
ロ その他労働衛生に関する知識，経験等を有する者

(2) 呼吸用保護具の適正な選択，使用及び保守管理の徹底

呼吸用保護具の選択，使用及び保守管理に関する方法並びに呼吸用保護具のフィルタの交換の基準を定めること。

また，フィルタの交換日等を記録する台帳を整備すること。

なお，当該台帳については，3年間保存することが望ましいこと。

(3) 呼吸用保護具の顔面への密着性の確認

呼吸用保護具を使用する際には，労働者に顔面への密着性について確認させること。

(4) 呼吸用保護具の備え付け等

呼吸用保護具については，同時に就業する労働者の人数と同数以上を備え，常時有効かつ清潔に保持すること。

6 労働衛生教育の実施

事業者は，坑内の作業に労働者を従事させる場合には，次に掲げる労働衛生教育を実施すること。

また，これら労働衛生教育を行ったときは，受講者の記録を作成し，3年間保存すること。

(1) 粉じん作業特別教育

坑内の特定粉じん作業(粉じん障害防止規則第2条第1項第3号に規定する特定粉じん作業をいう。以下同じ。)に従事する労働者に対し，粉じん障害防止規則第22条に基づく特別教育を行うこと。

また，特定粉じん作業以外の粉じん作業に従事する労働者についても，特別教育に準じた教育を実施すること。

(2) 防じんマスクの適正な使用に関する教育

事業者は，坑内の作業に従事する労働者に対し，次に掲げる事項について教育を行うこと。

イ 粉じんによる疾病と健康管理

ロ 粉じんによる疾病の防止

ハ 防じんマスクの選択及び使用方法

7 その他の粉じん対策

事業者は，労働者が，休憩の際，容易に坑外に出ることが困難な場合において，次に掲げる措置を講じた休憩室を設置することが望ましいこと。

イ 清浄な空気が室内に送気され，粉じんから労働者が隔離されていること。

ロ 労働者が作業衣等に付着した粉じんを除去することのできる用具が備えられていること。

第4 元方事業者が配慮する事項

1 粉じん対策に係る計画の調整

元方事業者は，上記第3の1の粉じん対策に係る計画の策定について，上記第3により事業者の実施すべき事項に関し，関係請負人と調整を行うこと。

2 教育に対する指導及び援助

元方事業者は，関係請負人が上記第3の6により実施する労働衛生教育について，当該教育を行う場所の提供，当該教育に使用する資料の提供等の措置を講じること。

3 清掃作業日の統一

元方事業者は，関係請負人が上記第3の2の(4)のイにより実施する清掃について，清掃日を統一的に定め，これを当該関係請負人に周知すること。

4 関係請負人に対する技術上の指導等

元方事業者は，関係請負人が講ずべき措置が適切に実施されるように，技術上の指導その他必要な措置を講じること。

別紙

換気の実施等の効果を確認するための空気中の粉じん濃度，風速等の測定方法

1　測定位置

空気中の粉じん濃度及び風速の測定点は，切羽から坑口に向かって５０メートル程度離れた位置における断面において，床上５０センチメートル以上１５０センチメートル以下の同じ高さで，それぞれの側壁から１メートル以上離れた点及び中央の点の３点とすること。

ただし，設備等があって測定が著しく困難な場合又はずい道等の掘削の断面積が小さい場合にあっては，測定点を３点とすることを除き，この限りでないこと。

なお，換気装置等の風量の測定における風速の測定点は，風管等の送気口又は吸気口の中心の位置とすること。

2　測定時間帯

粉じん濃度等の測定は，空気中の粉じん濃度が最も高くなる粉じん作業について，当該作業が行われている時間に行うこと。

3　測定時間

空気中の粉じん濃度の一の測定点における測定時間は，１０分以上の継続した時間とすること。ただし，測定対象作業の作業時間が短いことにより，一の測定点について１０分以上測定できない場合にあっては，この限りでないが，測定時間は同じ長さとする必要があること。

4　測定方法

(1) 空気中の粉じん濃度の測定

空気中の粉じん濃度の測定は，相対濃度指示方法によることとし，次に定めるところにより行うこと。

イ　測定機器は，光散乱方式によるものとし，作業環境測定基準（昭和５１年労働省告示第４６号）第２条第３項第１号の労働省労働基準局長が指定する者によって１年以内ごとに１回，定期に較正されたものを使用すること。

ロ　光散乱方式による測定機器による質量濃度変換係数は，当該測定機器の種類に応じ，次の表にそれぞれ掲げる数値とすること。

なお，次の表に掲げる測定機器以外の機器については，併行測定の実施あるいは過去に得られたデータの活用等により当該粉じんに対する質量濃度変換係数をあらかじめ定め，その数値を使用すること。

測定機器	質量濃度変換係数 ($mg/m^3/cpm$)
P-5L，P-5L_2，P-5L_3，　3411	0.04
LD-1L	0.03
P-5H，P-5H_2，P-5H_3	0.004
LD-1H，LD-1H_2，LD-3K，3423	0.003

ハ　粉じん濃度は，次式により計算すること。

粉じん濃度(mg/m³)＝質量濃度変換係数(mg/m³/cpm)×相対濃度(cpm)

(2) 風速の測定

風速の測定は，熱線風速計を用いて行うこと。

(3) 換気装置等の風量の測定

換気装置等の風量は，次式により計算すること。

換気装置等の風量(m³/min)＝風速(m/sec)×０．８×６０×送気口又は吸気口の断面積(m²)

(4) 気流の方向の測定

スモークテスター等により気流の方向の確認を行うこと。

(資料-2)　適用事例

(1)　粉じん低減剤の適用事例

工事件名	福岡201号新仲哀トンネル(上り線)新設工事
施工時期	平成15年2月～平成17年3月
工事概要	トンネル掘削延長：1,318m トンネル掘削断面積：78m^2～114m^2 掘削方法：発破工法，ショートベンチカット，タイヤ方式 換気方式：送気式（2,000m^3/min） 集じん機：ろ過集じん機（2,000m^3/min）
吹付け概要	(1)吹付け方式：湿式 (2)吹付けコンクリートの標準配合 単位セメント量：360kg/m^3 粗骨材の種類　：砕石15mm以下 急結剤の種類　：粉体 粉じん低減剤　：単位セメント量の0.1%（ナトムクリーン） (3)吹付け機械：空気圧縮機搭載型で最大吐出量18m^3/h (4)コンクリートプラント：定置式22.5m^3/h（二軸強制型0.5m^3）
吹付け時の粉じん対策概要	換気量の選定にあたり，吹付け作業時の粉じん濃度を3mg/m^{3}以下とするため，粉じん低減剤を使用した。 なお，掘削・ずり出し時にも対応するため，送風機2,000m^3/minを選定した。
その他の工事での主な実績	近畿自動車道高田山トンネル工事（施工延長1,709m，掘削断面積80～120m^2） 一般国道232号小平トンネル工事，東海北陸自動車道飛騨トンネル工事（施工中） など，1981年以来約400件のトンネル工事に使用されている。

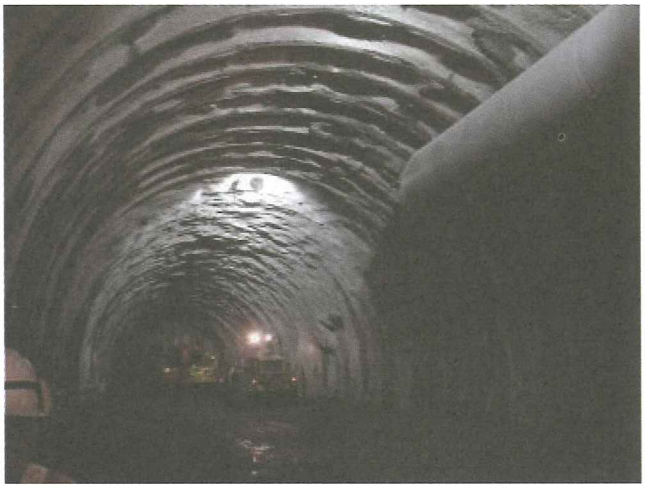
(2) 粉じん低減剤の適用事例

工事件名	国道324号道路改築（有明1号トンネル）工事
施工時期	平成15年12月～平成18年3月（予定）
工事概要	トンネル掘削延長：769m トンネル内空断面積：67.7m^2 掘削方法：機械掘削工法，ショートベンチカット，タイヤ方式 換気方式：送気式（2,000m^3/min） 集じん機：ろ過集じん機（2,000m^3/min）
吹付け概要	(1)吹付け方式：湿式 (2)吹付けコンクリートの標準配合 単位セメント量：360kg/m^3 粗骨材の種類　：砕石 急結剤の種類　：粉体 急結剤添加量　：単位セメント量の７％ 粉じん低減剤　：単位セメント量の0.1％（ショットクリーン） (3)吹付け機械：空気圧縮機搭載型で最大吐出量25m^3/h (4)コンクリートプラント：定置式25m^3/h（パン型0.5m^3）
吹付け時の粉じん対策概要	特記仕様に粉じん低減剤の使用が記載されているため使用した。なお，掘削･ずり出し時にも対応するため，送風機2,000m^3/minを選定した。  吹付け作業状況写真
その他の工事での主な実績	旭川･紋別自動車道 中越トンネル工事（施工延長3,296m，内空断面積71.9m^2） 南九州西回り自動車道 上名トンネル工事（施工延長1,378m，内空断面積78m^2） 九幹鹿 筑紫トンネル工事山浦工区（施工延長2,335m，内空断面積75m^2） など，これまで約40件の工事に使われている。

(3) スラリー急結剤の適用事例

工事件名	国道289号　甲子トンネル(下郷工区)工事
施工時期	平成15年2月～平成18年3月（予定）
工事概要	トンネル掘削延長：2,387m トンネル掘削断面積：57.5m^2～62.8m^2 掘削方法：発破工法，上部半断面工法(上下半交互推進)，タイヤ方式 換気方式：排気式（2,000m^3/min） 集じん機：電気集じん機（2,000m^3/min）
吹付け概要	(1)吹付け方式：湿式 (2)吹付けコンクリートの標準配合 単位セメント量：400kg/m^3 粗骨材の種類　：砕石(Gmax.=15mm) 急結剤の種類　：スラリー急結剤 急結剤添加量　：単位セメント量の７％ 急結助剤　　：単位セメント量の0.05％ (3)吹付け機械：空気圧縮機搭載型で最大吐出量30m^3/h (4)コンクリートプラント：定置式30m^3/h（二軸強制型0.5m^3）
吹付け時の粉じん対策概要	換気量の選定にあたり，吹付け作業時の粉じん低減を目的に，スラリー急結剤を使用した。なお，掘削・ずり出し時にも対応するため，送風機2,000m^3/min，電気集じん機2,000m^3/minを選定した。  吹付け作業状況写真
その他の工事での主な実績	遠野第二生活貯水池洪水吐トンネル築造工事(施工延長 1,987m，内空断面積 31.6～33.0m^2)，北陸新幹線第2黒部トンネル他工事，東海北陸自動車道飛騨トンネル避難坑工事，京都府道舞鶴和知線道路新設改良工事，敦賀バイパス坂下トンネル工事など，これまで6件の工事に本採用として使われている。なお，スラリー急結剤はこれらのほか，日本道路公団の高強度吹付けコンクリートに18件以上本採用として使われている。

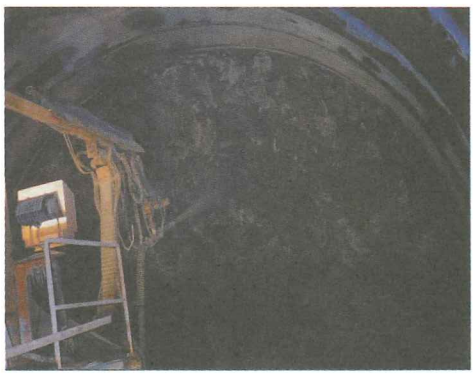
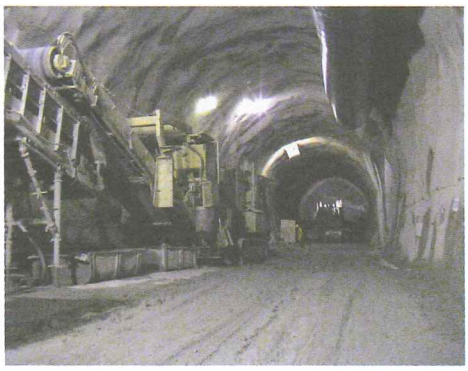
(4) 液体急結剤の適用事例

工事件名	一般国道283号 仙人峠道路住田地区 滝観洞トンネル工事
施工時期	平成15年2月～平成18年3月（予定）
工事概要	トンネル掘削延長：2,996m トンネル掘削断面積：78.6m^2（内空断面積70.9m^2） 掘削方法：発破工法，ショートベンチカット，ベッセル工法によるずり出し 換気方式：送気式（2,000m^3/min，風管φ1,700） 集じん機：ろ過集じん機（2,400m^3/min，伸縮式吸引風管φ1,500）
吹付け概要	(1)吹付け方式：湿式 (2)吹付けコンクリートの標準配合 単位セメント量：410 kg/m^3 粗骨材の種類　：砕石/砂利 細骨材の種類　：砕砂 急結剤　　：メイコSA163 急結剤添加量　：単位セメント量の9～13% (3)吹付け機械：最大吐出量30m^3/h ポンプ式（空気圧縮機搭載型） (4)コンクリートプラント：全自動式二軸1.0m^3　SEC対応
吹付け時の粉じん対策概要	吹付け作業時の粉じん濃度をガイドライン目標濃度以下とするため，液体急結剤を使用している。  吹付け作業状況写真
その他の工事での主な実績	権兵衛トンネル伊那工事（施工延長3,000m，掘削断面積85.5～108.4m^2） 第二名神高速道路甲南トンネル上り線工事（施工延長2,563m，掘削断面積175m^2） 第二東名高速道路今里第一トンネル工事（施工延長230m，掘削断面積175m^2） 平成15-17年度木岐トンネル工事（施工延長258m，掘削断面積80m^2）など

(5) 液体急結剤の適用事例

工事件名	第二名神高速道路・安坂山トンネル工事
施工時期	平成11年9月～平成16年3月
工事概要	トンネル掘削延長：1,476m トンネル掘削断面積：88m^2 掘削方法：発破掘削 換気方式：送気式　風量1,500m^3/min 集じん機：ろ過集じん機　2,000m^3/min
吹付け概要	(1)吹付け方式：湿式 (2)吹付けコンクリートの標準配合 単位セメント量：360kg/m^3 細骨材の種類　：砕砂 粗骨材の種類　：砕石 急結剤の種類　：AFK－777J 急結剤添加量　：単位セメント量の10%
吹付け時の粉じん対策概要	吹付け作業時の粉じん濃度を3mg/m^{3}以下とするため，アルカリフリー型液体急結剤を使用した（液体急結剤試行トンネル延長：81.6m）。 切羽より50m後方の発生粉じん濃度はガイドライン目標濃度を十分下回っていた。  吹付け作業状況写真
その他の工事での主な実績	旧建設省：錦第一トンネル工事（施工延長1,550m，掘削断面積71m^2） 東京電力：神流川発電所工区工事（施工延長3,400m，掘削断面積50m^2） 関西電力：国文都市付近管路新設工事（施工延長1,873m，掘削断面積49m^2） 日本道路公団：島田トンネル工事（施工延長948m，掘削断面積77m^2） などの工事に使われている。

(6) SECにより製造したベースコンクリートで粉体急結剤の適用事例

工事件名	平成12年度美和ダム再開発BPトンネル工事
施工時期	平成12年10月～平成17年3月
工事概要	トンネル掘削延長：4,308m トンネル掘削断面積：約60m^2 掘削方法：発破工法，補助ベンチ付き全断面工法（C級），ショートベンチカット工法（D級），タイヤ方式 換気方式：送気式（ブロワー1,500m^3/min，500mmAq，風管φ1,600mm） 集じん機：1,800m^3/min
吹付け概要	(1)吹付け方式：湿式 (2)吹付けコンクリートの標準配合 単位セメント量：360kg/m^3 粗骨材の種類　：豆砂利 急結剤の種類　：粉体 急結剤添加量　：単位セメント量の7.0% 粉じん低減剤　：単位セメント量の0.15% (3)吹付け機械：空気圧縮機搭載型（最大吐出量21m^3/h・ポンプ搬送方式） (4)コンクリートプラント：定置式，SEC練り対応22.5m^3/h（パン型ボルテックスミキサ0.75m^3）
吹付け時の粉じん対策概要	吹付け作業時の粉じん濃度を3mg/m^{3}以下とするため粉じん低減剤を使用した。ずり出しを連続ベルトコンベヤで行なっており，切羽の粉じんが坑内に拡散しないよう大型の集じん機を切羽に出来るだけ近くに設置した。   吹付け作業状況写真
その他の工事での主な実績	中越トンネル（施工延長3,296m，内空断面積87.4m^2） タラガトンネル（施工延長2,074m，内空断面積70.0m^2） 台湾新幹線トンネル（施工延長12,867m，掘削断面積130～140m^2） など，これまで98件の工事に使われている。

(7) 高品質吹付けコンクリートで粉体急結剤の適用事例

工事件名	北陸新幹線高社山トンネル（北）工事
施工時期	平成12年12月～平成16年6月
工事概要	トンネル掘削延長：本坑2,675m トンネル掘削断面積：80m^2～83m^2 掘削方法：機械掘削，ショートベンチカット，タイヤ方式 換気方式：排気ﾌｧﾝ2,000m^3/min（伸縮排気風管），送気ﾌｧﾝ500m^3/min （切羽送風用）
吹付け概要	(1)吹付け方式：湿式 (2)吹付けコンクリートの標準配合 単位セメント量：360kg/m^3（C+SF） 粗骨材の種類　：山砂利10～5mm 急結剤の種類　：粉体 急結剤添加量　：単位セメント量の6.5% 粉じん低減剤　：なし (3)吹付け機械：エレクター一体型　最大吐出量16m^3/h，空気圧縮機は定置式 (4)コンクリートプラント：定置式，高品質吹付けコンクリート（SEC練り対応）15m^3/h （二軸強制練り0.5m^3）
吹付け時の粉じん対策概要	伸縮排気風管を使い，切羽近傍で発生粉じんを吸引することにより，吹付け作業時の粉じん濃度は切羽から50m地点でガイドライン目標濃度を十分下回っていた。  吹付け作業状況写真
その他の工事での主な実績	東北幹八甲田T（屋形）（施工延長4,000m，掘削断面積80m^2） 北陸幹高田T（施工延長2,750m，掘削断面積80m^2） 九州幹三池T（北）（施工延長2,980m，掘削断面積80m^2） など，これまで120件の工事に使われている。

(8) ダストレス吹付け機械の適用事例

工事件名	国道135号道路改良（一次）工事立岩トンネル工事
施工時期	平成15年10月～平成17年6月（予定）
工事概要	トンネル掘削延長：284m トンネル掘削断面積：87.2m^2～123.3m^2 掘削方法：タイヤ方式機械掘削 換気方式：送気式　1,200m^3/min 集じん機：500m^3/min
吹付け概要	(1)吹付け方式：湿式　エア吹付け方式及び回転力方式（遠心力タイプ） (2)吹付けコンクリートの標準配合 単位セメント量：360kg/m^3 粗骨材の種類　：砕石 急結剤の種類　：粉体 急結剤添加量　：単位セメント量の7% 粉じん低減剤　：単位セメント量の0.1%（エア方式のみ） (3)吹付け機械：ダストレス吹付け機械，最大吐出量20m^3/h (4)コンクリートプラント：定置式22.5m^3/h（二軸強制練り0.5m^3）
吹付け時の粉じん対策概要	換気量の選定にあたり，エア方式の吹付け機械においては，吹付け作業時の粉じん濃度を3mg/m^{3}以下とするため，粉じん低減剤を使用した。 吹付け作業時の粉じん濃度を3mg/m^{3}以下とするため，施工承諾により，ダストレス吹付け機械を部分的に使用した。そのときの配合はエア方式と同じで粉じん低減剤は使用していない。 なお，掘削・ずり出し時にも対応するため，送風機1,200m^3/minを選定した。  吹付け作業状況写真
その他の工事での主な実績	東海北陸自動車道椿原トンネル工事（施工延長2,341m，内空断面積79.1m^2）， 瀬戸都市計画道路菱野線菱野トンネル工事（施工延長325m×2本（めがねトンネル），内空断面積76m^2）など，これまで4件の工事に使われている。

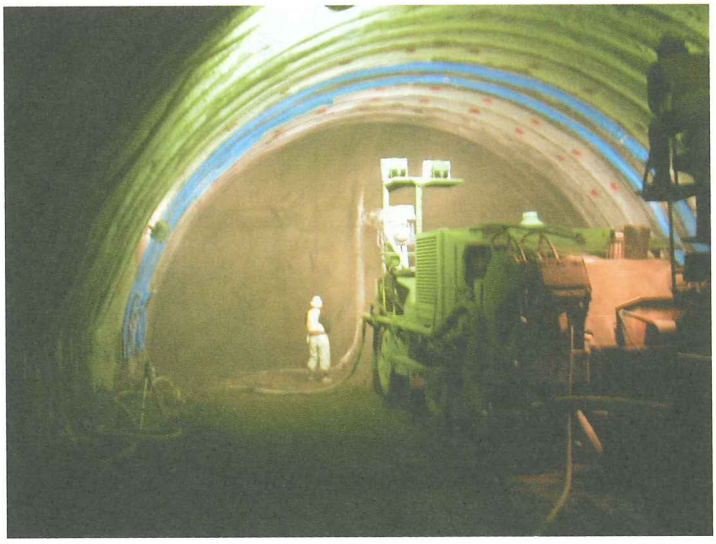
(9)　エアレス吹付け機械で液体急結材の適用事例

工事件名	主要地方道鳥取鹿野倉吉線三朝トンネル工事
施工時期	平成12年10月～平成16年3月
工事概要	トンネル掘削延長：942m トンネル掘削断面積：76m^2 掘削方法：発破工法，補助ベンチ付全断面工法，タイヤ方式 換気方式：送気式（1,200m^3/min） 集じん機：ろ過集じん機（1,500m^3/min）
吹付け概要	(1)吹付け方式：湿式 (2)吹付けコンクリートの標準配合 単位セメント量：450kg/m^3 粗骨材の種類　：豆砂利が得られず，砕石を使用した 急結剤の種類　：液体 急結剤添加量　：単位セメント量の9～11% 粉じん低減剤　：なし (3)吹付け機械：エアレス吹付け機械，最大吐出量20m^3/h (4)コンクリートプラント：定置式30m^3/h（パン型0.5m^3）
吹付け時の粉じん対策概要	通常のエアによる吹付けが実施されており，急結剤も粉体を使用する仕様であった本現場において，試験的にエアレス吹付け機械と液体急結剤を用いた吹付け施工を実施した。粉じん量はガイドライン目標濃度以下であることが確認された。  吹付け作業状況写真
その他の工事での主な実績	近畿自動車道高浜トンネル工事（内空断面積71.4m^2） など，これまで3件の工事にて試験施工として使われている。

(10)　局所集じんシステムの適用事例

工事件名	一般国道230号虻田町　青葉トンネル工事
施工時期	平成14年9月～
工事概要	トンネル掘削延長：1,719m トンネル内空断面積：88.6m^2～115.9m^2 掘削方法：機械掘削，ショートベンチカット，タイヤ方式 換気方式：送気式（風量1,260m^3/min） 集じん機：ろ過集じん機（1,500m^3/min）
吹付け概要	(1)吹付け方式：湿式 (2)吹付けコンクリートの標準配合 単位セメント量：360kg/m^3（普通ポルトランドセメント） 粗骨材の種類　：砕石5～13mm(豊浦町　大岸産) 急結剤の種類　：粉体 粉じん低減剤　：なし (3)吹付け機械：空気圧縮機搭載型で最大吐出量23.7m^3/h (4)コンクリートプラント：定置式60m^3/h（1.0m^{3}練り）
吹付け時の粉じん対策概要	本現場は，伸縮風管システム適用現場であるが，局所集じんシステムの現場実証試験を行った。吹付け作業時に局所集じん機（能力250m^3/min）を吹付け機械の横に配置し，粉じん濃度とともに施工性の実証を行った。分岐風管を用い切羽への風量を600m^3/minに制限すると，粉じん濃度3mg/m^{3}以下を確認できた。  吹付け作業状況写真
その他の工事での主な実績	なし

(11) 伸縮風管システムの適用事例

工事件名	一般国道230号虻田町　青葉トンネル工事
施工時期	平成14年9月～
工事概要	トンネル掘削延長：1,719m トンネル内空断面積：88.6m^2～115.9m^2 掘削方法：機械掘削，ショートベンチカット，タイヤ方式 換気方式：送気式（風量1,260m^3/min） 集じん機：ろ過集じん機（1,500m^3/min）
吹付け概要	(1)吹付け方式：湿式 (2)吹付けコンクリートの標準配合 単位セメント量：360kg/m^3（普通ポルトランドセメント） 粗骨材の種類　：砕石5～13mm(豊浦町　大岸産) 急結剤の種類　：粉体 粉じん低減剤　：なし (3)吹付け機械：空気圧縮機搭載型で最大吐出量23.7m^3/h (4)コンクリートプラント：定置式60m^3/h（1.0m^{3}練り）
吹付け時の粉じん対策概要	トンネル内を「集じんエリア」と「換気エリア」に分けて換気量を算定。そのため，当初計画の送風機より小型の送風機で対応可能となった。分岐風管を併用することにより，切羽風量を制御し，粉じんの発生量及び飛散を抑制する。本実験では切羽風量：分岐風量を50：50に設定した。写真のように切羽付近も良好な環境が確保された。  吹付け作業状況写真
その他の工事での主な実績	一般国道8号月浦トンネル工事（施工延長987m，断面積85～89m^2） 一般国道58号名護東1号トンネル工事（施工延長1,747m，内空断面積71.4m^2） の他，採用予定4件有り（2004年12月現在）

参表－3.1.1(a)　粉じん対策技術の比較一覧[注1)] その１

分　類	評価項目		従前技術[注2)]	粉じん低減剤を使用した技術	スラリー急結剤を使用した技術	液体急結剤を使用した技術	SEC により製造したﾍﾞｰｽｺﾝｸﾘｰﾄに粉体急結剤を使用した技術	高品質吹付けｺﾝｸﾘｰﾄに粉体急結剤を使用した技術	備　考
経済性直工費（発破）	吹付け工（CⅡ-b）		18 万円/m 程度	従前技術より安い	従前技術よりやや高い	従前技術より高い	従前技術より安い	従前技術より安い	CⅡ-b:掘削断面 80m²（余掘含む）両坑口は各 20m トンネル延長 700m
	トンネル換気設備		17 百万円程度	従前技術より安い	従前技術より安い	従前技術より安い	従前技術と同じ	従前技術と同じ	
	吹付けﾌﾟﾗﾝﾄ組立・解体		2 百万円程度	従前技術と同じ	従前技術と同じ	従前技術と同じ	従前技術と同じ	従前技術と同じ	
	ﾄﾝﾈﾙ空気圧縮機設備		17 百万円程度	従前技術と同じ	従前技術と同じ	従前技術より安い	従前技術と同じ	従前技術とほぼ同じ	
	標準配合	W/C(%)	56	56	55	46	60	57（水結合材比）	
		単位ｾﾒﾝﾄ量(kg)	360	360	400	400	360	342	
		急結剤(%)	7.0（粉体急結剤）	7.0（粉体急結剤）	7.0（ｽﾗﾘｰ急結剤）	10.0（液体急結剤）	7.0（粉体急結剤）	7.0（粉体急結剤）	
		粉じん低減剤(%)	－	0.1	－	－	－	－	
		混和剤(%)	－	－	0.1（急結助剤）	1.0（高性能減水剤）	－	0.5（高性能減水剤）	
		その他	－	－	－	－	－	ｼﾘｶﾌｭｰﾑ 18kg 石灰石微粉末 117kg	
	はね返り率(%)		25	25	22	12	22	20	
施工性	低減効果係数（α）		0.75[注3)]	0.5	0.4	0.2	0.60	0.60	α：式（2-1）参照
	ﾍﾞｰｽｺﾝｸﾘｰﾄの製造		－	プラント添加方式の場合には粉じん低減剤の供給装置を必要とする	急結助剤の供給装置を必要とする	混和剤供給装置を必要とする	分割練混ぜ 特許使用料 600 円/m³（設計吹付け＝周長×設計厚）	混和材供給装置を必要とし，分割練り混ぜる 特許使用料 600 円/m³（設計吹付け＝周長×設計厚）	
	吹付け機械		空気圧縮機を必要とする	従前技術と同じ	空気圧縮機およびｽﾗﾘｰ供給装置を必要とする	空気圧縮機は急結剤圧入のため 75kW 必要	従前技術と同じ	従前技術と同じ	打設能力 12m³/h
	湧水への対応		滴水程度でも付着	従前技術と同じ	従前技術と同じ。著しい湧水の場合は，スラリー用急結剤を粉体のまま使用できる。	急結剤添加率を 15%程度まで増量	従前技術と同じ	従前技術と同じ	1 箇所当り 1～2ℓ/min 程度の湧水

注 1)この表は，延長 700m，断面積約 80m² のトンネルをモデルとして支保パターンＣⅡ-b について試算したものである。

注 2)大型送風機および大型集じん機のみにより粉じん濃度の低減を図る技術

注 3)風量を 1.5 倍以上に大きくした場合（例えば断面積約 80m² のトンネルで送風量を 2,000m³/min 程度とした場合など）

参表－3.1.1(b)　粉じん対策技術の比較一覧[注1)] その２

分　類	評価項目		従前技術[注2)]	ダストレス吹付け機械で粉体急結剤を使用した技術	エアレス吹付け機械でｽﾗﾘｰ急結剤を使用した技術	エアレス吹付け機械で液体急結剤を使用した技術	局所集じんシステムを使用した技術	伸縮風管システムを使用した技術	備　考
経済性直工費（発破）	吹付け工（CⅡ－b）		18 万円/m 程度	従前技術より高い	従前技術よりやや高い	従前技術より高い	従前技術よりやや安い	従前技術より安い	CⅡ-b：掘削断面 80m²（余掘含む） 両坑口は各 20m トンネル延長 700m
	トンネル換気設備		17 百万円程度	従前技術より安い	従前技術より安い	従前技術より安い	従前技術より安い	従前技術より高い	
	吹付けﾌﾟﾗﾝﾄ組立・解体		2 百万円程度	従前技術と同じ	従前技術と同じ	従前技術と同じ	従前技術と同じ	従前技術と同じ	
	ﾄﾝﾈﾙ空気圧縮機設備		17 百万円程度	不要	吹付け機械は，空気圧縮機を搭載しているため不要	不要	従前技術と同じ	従前技術と同じ	
	標準配合	W/C(%)	56	56	55	48	56	56	
		単位ｾﾒﾝﾄ量(kg)	360	360	400	400	360	360	
		急結剤(%)	7.0（粉体急結剤）	7.0（粉体急結剤）	7.0（スラリー急結剤）	10.0（液体急結剤）	7.0（粉体急結剤）	7.0（粉体急結剤）	
		粉じん低減剤(%)	－	－	－	－	－	－	
		混和剤(%)	－	－	0.1（急結助剤）	1.4（高性能減水剤）	－	－	
		その他	－	－	－	－	－	－	
	はね返り率(%)		25	25	18	18	25	25	
施工性	低減効果係数（α）		0.75[注3)]	0.2	0.2	0.2	0.50（分岐風管＋局所集じん）	分岐風管＋伸縮風管	α：式（2-1）参照
	ﾍﾞｰｽｺﾝｸﾘｰﾄの製造		－	－	混和剤供給装置を必要とする	混和剤供給装置を必要とする	－	－	
	吹付け機械		空気圧縮機を必要とする	空気圧縮機不要（回転力方式）	空気圧縮機およびスラリー供給装置を必要とする	空気圧縮機不要（回転力方式）	従前技術と同じ	従前技術と同じ	打設能力 12m³/h
	湧水への対応		滴水程度でも付着	従前技術と同じ	滴水程度でも付着	急結剤添加率を 15%程度まで増量	従前技術と同じ	従前技術と同じ	1 箇所当り 1～2ℓ/min 程度の湧水

注 1)この表は，延長 700m，断面積約 80m² のトンネルをモデルとして支保パターンＣⅡ-b について試算したものである。

注 2)大型送風機および大型集じん機のみにより粉じん濃度の低減を図る技術

注 3)風量を 1.5 倍以上に大きくした場合（例えば断面積約 80m² のトンネルで送風量を 2,000m³/min 程度とした場合など）

参表－3.2.1　粉じん低減剤に関する価格表

品　名	主成分	価　格	備　考
ナトムクリーン	セルロース系	2,800 円/kg	物価版
ショットクリーン	同　上	ﾌﾟﾗﾝﾄ添加 3,000 円/kg ｱｼﾞﾃｰﾀﾄﾗｯｸへの手投入 添加 4,000 円/kg	メーカー提供資料による

参表－3.2.2　粉じん低減剤供給機に関する価格表

名　称	規　格	価　格	備　考
粉じん低減剤供給機	定量ﾌｨｰﾀﾞ，ﾎｯﾊﾟｰで構成される。	標準損料　700 円/h 基礎価格 1,000 千円 標準使用年数 5 年	メーカー提供資料による。 年間標準運転時間，運転日数，供用日数，維持修理費率，残存率はコンクリートプラントと同じ。ただし，標準使用年数は 5 年，年間管理費率は急結剤供給装置と同じ。

参表－3.3.1　スラリー急結剤に関する価格表

品　名	主成分	価　格	備　考
ナトミック US32	ｶﾙｼｳﾑｱﾙﾐﾈｰﾄ鉱物系	250 円/kg	メーカー提供資料による
FTN-SD2	水溶性高分子	4,000 円/kg	メーカー提供資料による

参表－3.3.2　スラリー化装置等に関する価格表

名　称	規　格	価　格	備　考
ｽﾗﾘｰ化装置（制御盤，ｽﾗﾘｰ化水用ﾎﾟﾝﾌﾟ，ｽﾗﾘｰ化ﾉｽﾞﾙ，Y 字管含む）		標準損料 1,640 円/h 基礎価格 3,000 千円 標準使用年数 8 年	メーカー提供資料による。 年間標準運転時間，運転日数，供用日数，維持修理費率，年間管理費率，残存率は急結剤供給装置と同じ。
ｽﾗﾘｰ急結助剤供給機		標準損料 1,220 円/h 基礎価格 1,800 千円 標準使用年数 8 年	メーカー提供資料による。 年間標準運転時間，運転日数，供用日数，維持修理費率，年間管理費率，残存率はコンクリートプラントと同じ。
ｽﾗﾘｰ装置消耗品		1,940 円/h	メーカー提供資料による。

参表－3.4.1　液体急結剤に関する価格表

品　名	主成分	価　格	備　考
メイコSA163	水溶性ｱﾙﾐﾆｳﾑ塩系	300円/kg	物価版
AFK－777J	同　上	300円/kg	物価版

参表－3.4.2　液体急結剤の配合に用いるベースコンクリート用高性能減水剤に関する価格表

品　名	主成分	価　格	備　考
NT-1000シリーズ	ポリカルボン酸系	280円/kg	供給装置を含む
404CVシリーズ	同　上	280円/kg	供給装置を含む

参表－3.5.1　SEC練混ぜ特許使用料

名　称	規　格	価　格	備　考
特許使用料	ＳＥＣ練混ぜ	600 円/m^3 (設計吹付け量)	メーカー提供資料による。

参表－3.6.1　高品質吹付けコンクリートの配合に関する価格表

品　名	主成分	価　格	備　考
石灰石微粉末	JIS R 5210	7 円/kg	メーカー提供資料による。
シリカフューム	JSCE-D106	135 円/kg	メーカー提供資料による。
高性能減水剤	ポリカルボン酸系	280 円/kg	メーカー提供資料による。 供給装置を含む

参表－3.6.2　高品質吹付けコンクリートのSEC練混ぜ特許使用料

名　称	規　格	価　格	備　考
特許使用料	高品質練混ぜ	600 円/m^3 (設計吹付け量)	メーカー提供資料による。

参表－3.7.1　ダストレス吹付け機械の価格表

名　称	規　格	価　格	備　考
吹付け機械 (湿式ｺﾝｸﾘｰﾄ吹付け機・ﾎｲｰﾙ型) ﾄﾝﾈﾙ工事用・排出ｶﾞｽ対策型（1次基準値)	吐出量6～20m^3級 吹付け範囲半径 7m級。 吹付け機，吹付けﾛﾎﾞｯﾄ，急結剤供給装置を含む	標準損料 51,900 円/h 基礎価格 95,000 千円 標準使用年数　8年	メーカー提供資料による。 年間標準運転時間，運転日数，供用日数，維持修理費率，年間管理費率，残存率は湿式ｺﾝｸﾘｰﾄ吹付け機と同じ。

参表－3.8.1　エアレス吹付け機械の先端装置消耗品の価格表

品　名	規　格	価　格	備　考
インペラブレード		8,640 円/h	メーカー提供資料による。
ｹｰｼﾝｸﾞﾗｲﾅｰ		1,680 円/h	メーカー提供資料による。
投入口超鋼材		3,120 円/h	メーカー提供資料による。
ｲﾝﾍﾟﾗ内部超鋼材		3,890 円/h	メーカー提供資料による。
ｹｰｼﾝｸﾞ超鋼ﾗｲﾆﾝｸﾞ		1,370 円/h	メーカー提供資料による。

参表－3.8.2　エアレス吹付け機械の価格表

名　称	規　格	価　格	備　考
吹付け機械 （湿式ｺﾝｸﾘｰﾄ吹付け機・ﾎｲｰﾙ型） ﾄﾝﾈﾙ工事用・排出ｶﾞｽ対策型（1 次基準値）	吐出量 6～20m³級 吹付け範囲半径 7m 級。 吹付け機，吹付けﾛﾎﾞｯﾄ，急結剤供給装置，空気圧縮機（37ｋW）を含む	標準損料 35,500 円/h 基礎価格 65,000 千円 標準使用年数　8 年	メーカー提供資料による。 年間標準運転時間，運転日数，供用日数，維持修理費率，年間管理費率，残存率は湿式ｺﾝｸﾘｰﾄ吹付け機と同じ。

参表－3.9.1　局所集じん機械等の価格表

名　称	規　格	価　格	備　考
局所集じん機	定格風量 250m³/min 級	標準損料　6,800 円/h 基礎価格 12,500 千円 標準使用年数　7 年	メーカー提供資料による。 年間標準運転時間，運転日数，供用日数，維持修理費率，年間管理費率，残存率はろ過集じん機と同じ。 なお，フィルタ等の消耗品を含む。
分岐風管	φ1,200mm	212,000 円（5m 定尺）	メーカー提供資料による 1 現場での損耗は 100%
	φ1,300mm	223,000 円（5m 定尺）	
	φ1,400mm	235,000 円（5m 定尺）	
	φ1,500mm	246,000 円（5m 定尺）	
	φ1,600mm	257,000 円（5m 定尺）	
	φ1,700mm	269,000 円（5m 定尺）	
	φ1,800mm	280,000 円（5m 定尺）	

参表－3.10.1　伸縮風管システムの価格表

名　称	規　格	価　格	備　考
伸　縮　風　管	L=120m, φ1,400	40,100,000 円	メーカー提供資料による。
(内訳)			1 現場での損耗は 60%
駆動車関係	ラックレール盛替用	2,090,000 円	
制御盤類	ラックレール盛替用	3,460,000 円	
トロッコ類	上部・下部・単トロッコ	11,200,000 円	
レール関係	4m, 2m	2,660,000 円	
管類	インナー管，補強リング	4,700,000 円	
ﾚﾃﾞｭｰｻ・ﾍﾞﾙﾏｳｽ		2,400,000 円	
風管関係	バンド含む	12,800,000 円	
電気・ｹｰﾌﾞﾙ関係	回転灯，ケーブル他	790,000 円	
伸　縮　風　管	L=120m, φ1,500	42,580,000 円	メーカー提供資料による。
(内訳)			1 現場での損耗は 60%
駆動車関係	ラックレール盛替用	2,090,000 円	
制御盤類	ラックレール盛替用	3,460,000 円	
トロッコ類	上部・下部・単トロッコ	11,800,000 円	
レール関係	4m, 2m	2,660,000 円	
管類	インナー管，補強リング	4,690,000 円	
ﾚﾃﾞｭｰｻ・ﾍﾞﾙﾏｳｽ		2,700,000 円	
風管関係	バンド含む	14,400,000 円	
電気・ｹｰﾌﾞﾙ関係	回転灯，ケーブル他	780,000 円	