

平成 15 年度

吹付コンクリート施工時に発生する粉じんの
低減化に関する研究報告書

平成 16 年 3 月

(社)岐阜県特殊工事技術協会 トンネル技術委員会
岐阜社会基盤研究所

目 次

1. はじめに

1 - 1	研究の目的	3
1 - 2	研究組織	3
1 - 3	これまでの研究の経緯	3
1 - 4	研究フロ	4

2. 吹付コンクリートの現状

2 - 1	標準的な吹き付けコンクリートの施工方法	5
2 - 2	急結剤の種類（粉体及び液体急結剤）	5～6
2 - 3	粉塵発生の要因とその成分	6
2 - 4	粉塵の有害性及び急結剤の有害性	6
2 - 5	粉塵対策の方法	6～7
2 - 6	ガイドラインの目標値 3 mg/m ³ に関して	8

3. 調査研究の方針

3 - 1	吹き付けコンクリート（粉体急結剤使用）の粉塵実態調査	8
3 - 2	トンネル工事全体における液体急結剤使用時のコスト構成比率	8～9
3 - 3	塵低減工法の経済比較	9～10
3 - 4	粉塵濃度目標値の設定	10

4. 試験施工の計画

4 - 1	試験概要	11～13
4 - 2	試験要領	14～15

5. 試験施工結果報告

5 - 1	配合量の決定の試験結果	15～16
5 - 2	低減効果の計測結果	17
5 - 3	リバウンド量の計測結果	17
5 - 4	施工条件に関する結果	17
5 - 5	現地検討	18

6. まとめ

6 - 1	粉塵低減目標値の提案	18
6 - 2	液体急結剤使用に関する配合量の提案	18
6 - 3	液体急結剤の使用上の留意点	19
6 - 4	総合考察と今後の課題	19

7. 試験施工状況写真	20～25
-------------	-------

1 ,はじめに

1 - 1 研究の目的

トンネルのコンクリート吹付時に発生する粉じん量は非常に多く、人体、環境に与える影響が極めて大きい。そこでその発生源を抑える事により、作業環境を改善する。

1 - 2 研究組織

(社) 岐阜県特殊工事技術協会 トンネル技術委員会
岐阜大学工学部社会基盤工学科 助教授 内田裕市
岐阜県建設研究センター

1 - 3 これまでの研究の経緯

トンネル工事は、狭い坑内での作業の為、使用機械等の影響で作業環境が屋外に比べて著しく悪い。又、現在までに国土の開発に伴って多くのトンネル工事が施工されたがそれに従事していた多くの作業員が数年前からじん肺にかかっており、訴訟問題等含め大きな社会問題になっている。

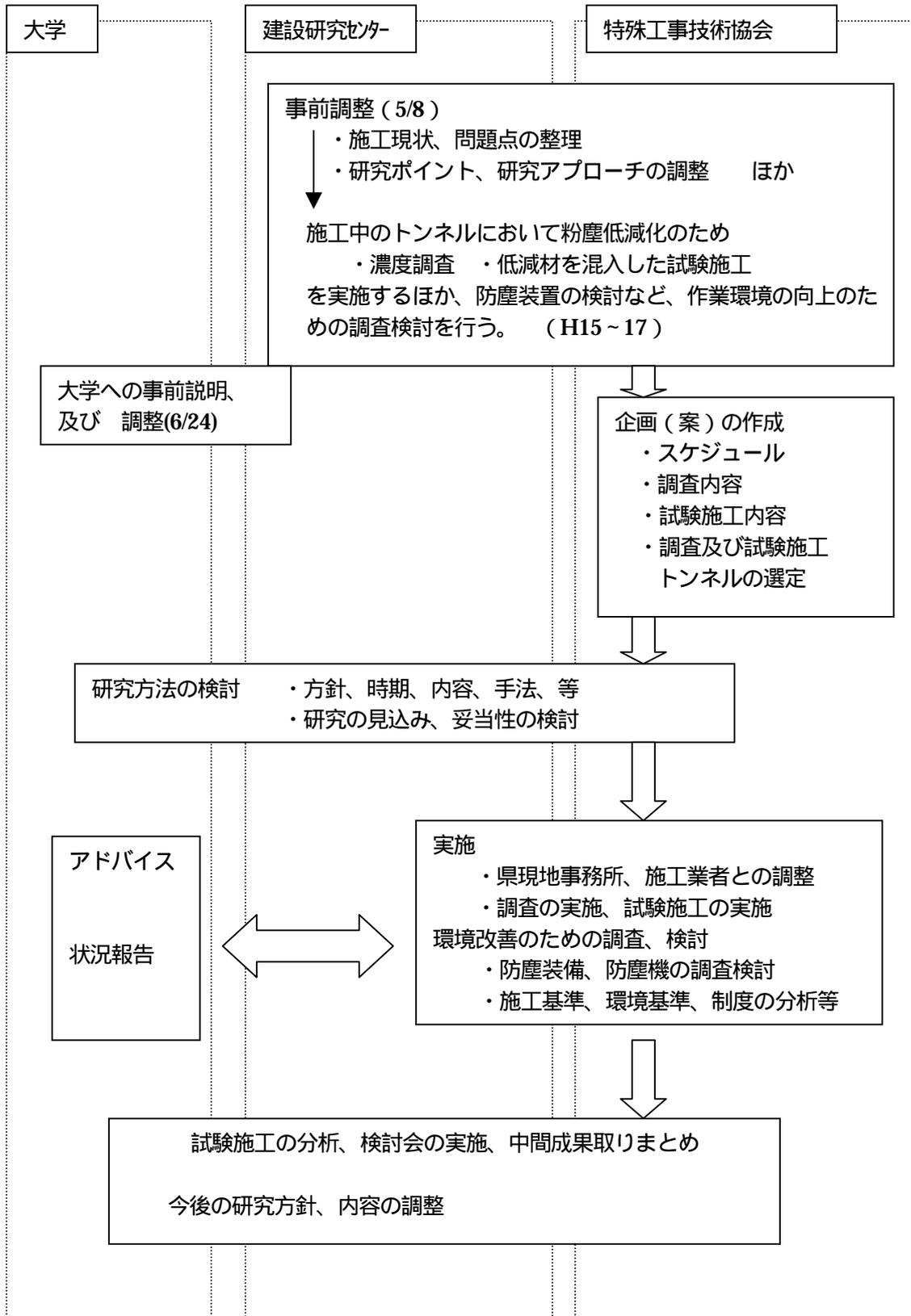
これらの作業員の年齢を見ると多くがN A T M工法以前の在来工法によるトンネル作業に従事されていたと思われる。

しかし、NATM 工法においても、吹付時に発生する粉じんは非常に多く、在来工法より環境が悪いとも言われている。このN A T M工法によって、第2次じん肺訴訟を招くと懸念されている現状であり早急に作業環境を改善する必要がある。

当委員会はその環境問題を取り上げて色々な改善方法を検討し、比較的安価にできそうなウォーターカーテンを試作して試験施工を2現場で行ったが目標とする効果が得られなかった。この為、今年度は液体急結剤を用いた工法を取り上げ検討する事とした。

1 - 4 研究フロー

NATM 工法における吹き付け時の粉塵低減化研究 取り組みフロー H15.6.11 現在



2, 吹付コンクリートの現状

2 - 1 標準的な吹付コンクリートの施工

トンネルの吹付コンクリートの施工方法は、乾式工法と湿式工法とがあるが乾式工法は湿式工法に比べて、粉塵の発生量が多いことから工事の殆ど（8割）が湿式工法を採用している。この湿式工法とは、切羽付近まで運搬した現場練り吹付コンクリートを吹き付けロボットでアーチに沿って、岩盤、土砂が剥離崩落を生じないように急結剤（紛体）を添加してエアーで吹き付ける工法である。

2 - 2 急結剤の種類（粉体及び液体急結剤）

1) 急結剤の定義

土木学会基準（JSCE-D102-1999）吹付コンクリート用急結剤品質規格では、『急結剤とはトンネル等の吹付コンクリートに添加し、吹付られたコンクリートの早期の強度を増進させる為に用いられる混和剤をいう』と定義されている。

2) 急結剤の品質

(JSCE - D102 - 1999)

項目	凝結時間(min)		圧縮強度(N/mm ²)		
	始発時間	終結時間	12時間	24時間	28日
品質規格値	5以内	15以内	1.0以上	9.0以上	75%以上*

*急結剤を混入しないモルタルに対する強度比率

急結剤の品質は吹付コンクリートが支保部材として機能するため、吹付後 24 時間以内の初期強度、及び材齢 28 日以降の長期強度の両方が必要である。

3) 急結剤の種類

1: 急結性セメント鉱物系：紛体（加シウムアルミネート系）

現在、日本で使用されている急結剤の大半を占めている。

セメントと同一原料で急結剤自身も水和反応し急結性をしめず。添加量は 5 ~ 7 % 程度で（卓越した）効果をしめず。無機塩系に比べアルカリ分も少ない、長期強度は無添加より低下する傾向にある。

2: 超急硬性セメント鉱物系：紛体（加シウムアルミネート系）

急結剤自体が水と反応しカルシウムアルミネート水和物やエトリンガイドを形成し急結性を発揮する。このため、重文なエトリンガイドを形成させる必要があるため添加量が 10 ~ 20 % と多くなる欠点があるが、磨り減り等の耐久性に優れ長期強度の低下率が小さく高強度吹付コンクリートに使用されている。

3: アルカリフリー液体急結剤

従来の強アルカリによる長期強度の低下を改善するために開発されたもので硬化時間は粉体に比べてやや長くなるがはね返りや粉じん発生の低減につながっている。

更に中性 ~ 弱酸性であるため（人体の）皮膚や眼への刺激が低減され作業員に対する安全性の高い環境を得ることができる。

表 1 現在市販されている主な急結剤を示す

				表 1 トンネル急結剤		
品名	形状	メーカー名	標準添加率	主成分		
デンカナミックタイプ 3	粉体	(株)電気化学工業	C*3 ~ 7%	無機塩		
デンカナミックタイプ 5			C*5 ~ 10%	急結性セメント鉱物		
デンカナミックタイプ 10			C*8 ~ 15%	超急硬性セメント鉱物	カルシウムサルフォアルミネート系鉱物	
スーパーナトム		アサセメント(株)	C*5 ~ 7%	急結性セメント鉱物		
Tロック		(株)小野田セメント	C*4 ~ 7%	急結性セメント鉱物		
Tロック スーパー			C*4 ~ 10%	急硬性セメント鉱物		
QP-55		(株)ポゾリス物産	C*5 ~ 10%	急結性セメント鉱物		
QP-500			C*3 ~ 5%	特殊アルミン酸化合物		
シグニット D1, D3		日本シーカー	C*5 ~ 9%	無機塩		
シグニット D5			C*5 ~ 9%	アルミ化合物		
デンカナミック US-50		スラリー化	(株)電気化学工業	C*5 ~ 10%	急硬性セメント鉱物	カルシウム・サルフォアルミネート系鉱物
ロケット	液体(アルカリフリー)	(株)小野田, ローディアジャパン(株)	C*8 ~ 12%	沈降性リソカスラリー	全アルカリ量 0.1%以下 pH2.4	
メコ SA160(通常)		(株)ポゾリス物産	C*6 ~ 12%			
メコ SA161(冬期)			C*6 ~ 12%	水溶性アルミニウム塩	全アルカリ量 0.1%以下 pH2.5	
MAPEEI AFK-777		(株)カテックス	C*6 ~ 8%	改質アルミニウム合成物	全アルカリ量 0.1%以下 pH2.5±0.2	
シグニット-50AF		日本シーカー(株)		C*6 ~ 12%	硫酸アルミニウムの無機物	全アルカリ量 0.2%以下 pH2.3~3.0
シグニット-52AF						

2 - 3 粉塵発生の要因とその成分

吹き付け作業時に発生する粉塵は吹付ロボットから噴射されたコンクリートと岩盤、あるいはコンクリート同士の衝突によるもの。又、粉体急結剤が混合しきれない粒子等である。その組成は、セメント、粉体急結剤が 55%(セメント分を混入した微細粒水滴を含む)、骨材の微粒分 35% であり両者で大部分を占めている。

2 - 4 粉塵の有害性及び急結剤の有害性

人が吸入した粉塵は、数 10 μm 以上の粒径のものは大部分が鼻腔や、上部呼吸器官で捕らえられ、痰などで排出されるが、5 ~ 10 μm になると気管支まで入って沈着する、更に、0.5 ~ 2 μm の微細粒子は肺胞まで達し、その周囲の組織が病理変化を起こして繊維状の結節を作り、肺が硬くなり、酸素の供給が不完全となり呼吸困難、息切れなどの病状を呈するじん肺に陥る。又、一般に使用されている粉袋の急結剤は強アルカリ性であるので火傷等の皮膚障害、眼に入った場合は重度の障害を引き起す為、ヨーロッパでは、人体への影響回避の為、アルカリフリー(アルカリ性で無い)の急結剤を開発・普及に向けている。

2 - 5 粉塵対策の方法

吹き付けコンクリート施工時に発生する粉塵対策としては次の 4 項目が挙げられる。

1. 発生源対策
 - a) 粉じん低減剤
 - b) 低粉塵吹き付けコンクリート
 - c) 施工に関するもの
2. 換気
3. 集じん
4. 曝露減少対策

発生源対策に関して

a) 粉塵低減剤

主成分は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でその増粘効果により粉塵を抑制する作用がある。

普通は吹付コンクリート練り混ぜ時に添加される。

b) 低粉塵型吹付コンクリート

従来の粉体急結剤の不混合、エアーの脈動等による粉塵の発生率を低減する為にスラリー - あるいは、液体の急結剤が開発されてきた。近年まで主流であった急結剤は殆どが強アルカリ性であった為、作業員にアルカリによる皮膚障害が生じる事があるので人体への影響を低減することと長期強度と耐久性を得ることを目的として、低アルカリ、アルカリフリーの急結剤が開発され実用化されている。

c) 施工に関するもの

吹き付けの機構そのものを変更して、エアーを使用せずコンクリートを遠心力で投射する吹き付け機を使用する工法やコンクリートを壁面に塗りつけていくNTL工法などがある。

NTL工法は、数年前からモデル施工を行なっているが地質不良の地山に対して施工性が悪く普及していない。遠心力吹き付け機の効果は粉塵低減剤を併用することで低減が出来たと言われているが開発途中で実用化にはまだいたっていない。

換気

粉塵に限らず坑内の環境対策の基本は換気に頼っており、換気方式には大きく分けて送気式と排気式がある。

送気式は新鮮な外気を風管で直接切羽付近へ送り、坑内を通して汚染空気を排出させる方式で単純に言えば希釈方式である。

排気方式は発生した汚染空気を直接風管を通して排出する方法でトンネル全体の空気は比較的清浄になる。しかし、後方での作業による汚染空気を切羽付近に送り込む為、切羽付近の空気が悪くなる。

集じん機

換気設備を補うものとして多くの現場で使用されている。従来型の集塵機(500m³)では容量が小さく能力不足と考えられていることから近年では大容量の集塵機(2000~3000m³)が実用化されている。しかし、機体が大きく重量がある為、他の機械類と競合して効果的な位置に設置しにくいことが問題である。

曝露減少対策

遠隔操作や保護具着用等の事であるが、その方法についても完全に除じんは難しく防塵マスク等の保護具を着用している。

以上が吹付時の対策であるが、トンネル坑内には重機(現在では排ガス対策重機を使用している)等あらゆる空気汚染の発生源があり換気設備が基本である。そして、その対策に併せて補助対策として防じんマスクを着用することが不可欠である。

2 - 6 ガイドラインの目標値 3mg/m³ に関して

NATM によるトンネル施工が一般に採用されるようになって、吹付作業時の粉じん発生が問題化してきた事から厚生労働省は平成 12 年 12 月に『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、粉じん濃度目標レベルを 3mg/m³ 以下に定めた。

ただし、中断面のずい道のうち、3mg/m³ を達成する事が困難と考えられるものについては出来るだけ低い値を粉じん濃度目標レベルとすることとなっている。

*粉じん濃度目標レベルの値が 3mg/m³ 以下とする事とされたのは、ずい道等建設工事における粉じん濃度の現状、作業環境改善のための工学的対策の可能性などを考慮しての事である。

(大断面：50m² 以上 中断面：10m² 以上 50m² 未満 小断面：10m² 未満)

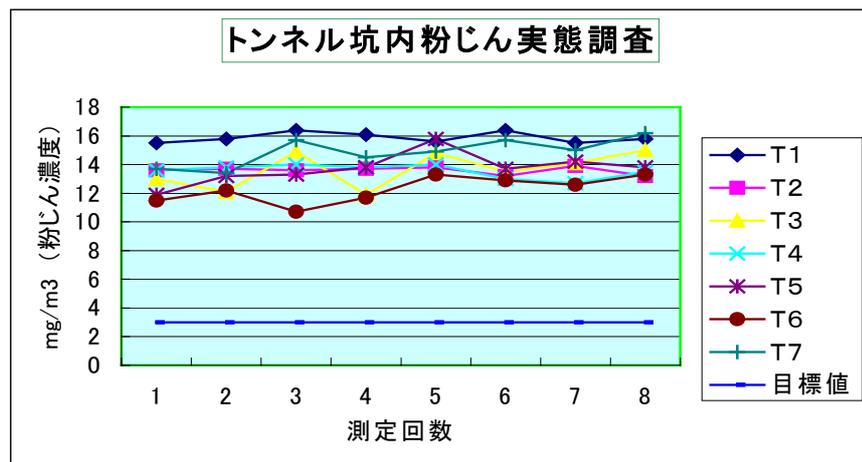
3 , 調査研究の方針

3 - 1 吹き付けコンクリート (粉体急結剤使用) の粉塵実態調査

下記の表は道路トンネル7箇所(T1~T7)に於いて吹付コンクリート施工時に坑内切羽付近で粉じんの実態調査を行なった結果である。

切羽付近の粉じん濃度平均値は 14mg/m³ 弱と非常に高く、目標レベルの 5 倍近くもあった。

表 2



3 - 2 トンネル工事全体における急結剤のコスト構成比率 (C*5.5%で試算)

下記の構成比率は県発注トンネル工事 500m程度のトンネル工費から試算

トンネル工事 構成比率

掘削工	支保工	吹付コンクリート工	ロックボルト工	覆工コンクリート工	排水工	舗装工	計
46.2	4.9	12.1	7.2	22.1	3.4	4.1	100

吹付コンクリート構成比率 1m³ 当たり

セメント	砂利	砂	急結剤	機械費	労務費	計
15.4	4.4	8.6	11.6	47.7	12.3	100

トンネル全体に占める急結剤の割合

1.40%

吹付コンクリート工に占める急結剤の割合

11.60%

参考

吹付コンクリートに於ける急結剤の標準添加率(紛体)

	鉄 道	道 路	高 速 道 路	実施工の採用値
	(日本鉄道建設公団)	(国土交通省)	(日本道路公団)	
乾 式	4.5%	5.5%	7.0%	約 7~8 %
湿 式	4.0%	5.5%	7.0%	約 7~8 %

3 - 3 低減工法の経済比較

ガイドラインの目標値 3mg/m³ 以下を達成する為の工法をしぼり、現状の県工事設計仕様を基本として、3 パターンの工法で施工性、環境性、経済性等の総合比較を行なった。

概算施工費の算出根拠

平成 14 年度 国土交通省土木工事標準積算基準
平成 15 年 4 月 岐阜地区資材単価使用

表 3 資機材単価 (平成 15 年 4 月岐阜地区資材単価)

品 名	規 格	単 位	単 価	品 名	規 格	単 位	単 価
セメント	普通ポルトランド	t	8,000	集塵機	RE-300P 300m ³ /m ³	月	350,000
砂		m ³	3,600	集塵機	RE-500P 500m ³ /m ³	月	400,000
砂利		m ³	3,350	集塵機	RE-1000P 1000m ³ /m ³	月	900,000
急結剤	紛体	kg	200	集塵機	RE-1500P 1500m ³ /m ³	月	1,100,000
急結剤	液体	kg	250	集塵機	RE-1800P 2000m ³ /m ³	月	1,700,000

表—4 吹付けコンクリート(急結剤)比較表

施工方法

- 1: 現在の設計仕様は紛体急結剤(C*5.5%) + 集塵機 500m³/min
- 2: 粉体急結剤(C*5.5%) + 集塵機 2000m³/min
- 3: 粉体急結剤(C*5.5%) + 低減剤(C*0.1%) + 集塵機 1500m³/min
- 4: 液体急結剤(C*9.0%) + 集塵機 500m³/min

	1: 標準設計	2: 標準設計+集塵機変更	3: 低減剤+集塵機変更	4: 液体急結剤
施工方法	現在設計に使われている施工方法です。「ガイドライン」に記されている粉塵濃度を満足するには、集塵機の能力が小さすぎる。	現在設計に使われている施工方法です。「ガイドライン」の粉塵濃度を満足させる為に集塵機の能力を大きくして対応する。	現在使用している吹付けコンクリートに低減剤を用いて、粉塵濃度を低減する工法です。この工法で行うと標準設計よりは低減されるが「ガイドライン」の目標値にはまだ難しい。そのため標準設計よりは少し大きめの集塵機が必要となる。	現在使用されている粉体急結剤の代わりに液体急結剤を使用する工法です。この工法を使用すると粉塵濃度が「ガイドライン」の目標値(3.0mg/m ³)以下になる。ただし、坑内の排気ガスを考えると標準設計能力の集塵機は必要である。
施工性	標準設計であり、施工性は変わらず。 ○	集塵機の能力を大きくすることで機械設備が大きくなり、施工性は悪くなる。 △	低減剤を入れる事により粘性が増す事により、施工性は少し悪くなる。 △	リバウンド率の低減が図られるので粉じん発生が少ない為、視界も良く、施工性が良い。 ◎
環境性	「ガイドライン」に不適合 ×	「ガイドライン」に適合 ○	「ガイドライン」に適合 ○	「ガイドライン」に適合 ○
経済性	吹付けコンクリートの単価 12,995円/m ³ ◎	吹付けコンクリートの単価 22,175円/m ³ ×	吹付けコンクリートの単価 21,515円/m ³ ○	吹付けコンクリートの単価 21,824円/m ³ △
総合	×	×	○	◎

3 - 4 粉塵濃度目標値の設定

目標レベルの設定に関して、前述の通り改訂ガイドラインの目標数値は50m地点以降で3mg/m³以下と定めている。

しかし実作業においては、最も粉じんの発生量が多い切羽付近で吹き付け作業を行なっている事から、その付近の作業環境を改善する必要があると考えられる。

そこで、今回の目標レベルは、工法、材料を選択検討することによって、50m以内においても3mg/m³以下を目標とする事とした。

4. 試験施工の計画

はじめに

この計画は委員会の研究課題に基づき、NATM工法で施工するコンクリート吹付作業時に発生する粉じんの抑制を課題として、試験施工により、品質、施工性、経済性、安全性等を確認する事とした。今後、施工するトンネルの作業改善につなげる事を目的とする。

工法については、現在最も粉じん発生に対して抑制効果のある液体急結剤を使用して行なう。

4 - 1 試験概要

試験場所：内ヶ谷ダム工事用第1トンネル工事 坑内

試験日時：平成15年11月19日～20日

試験目的：吹付け諸性状、強度発現性の確認。

(1) 使用材料

本試験の使用材料を一括して表-5に示す。

表 - 5 使用材料

材料名	種類	産地およびメーカー	物性
セメント	普通ポルトランドセメント	住友大阪セメント(株)	比重：3.15
細骨材	川砂	郡上郡八幡町産	比重：2.60
粗骨材	碎石	郡上群大和町産	比重：2.64 Gmax：15 mm
減水剤	NM-200	(株)フローリック	
急結剤	AFK-777J	MAPEI 社	比重：1.43 ± 0.03

今回使用する液体急結剤

表 - 6 液体急結剤 MAPEI AFK-777J の仕様

項 目	仕 様
主 成 分	硫酸塩アルミニウム
外 観	透明感のある濁褐色
粘 性	40 ~ 200mPa・s
pH	3.0 ± 0.5
乾燥材料含有量	51 ± 3%
比 重	1.43 ± 0.03
荷 姿	1,000 Lポリコンテナ

(2) 使用配合

コンクリート配合は急結剤の適合性を確認する為に表 - 7に示した。

単位水量は、減水剤を含む

表 7

配合	水セメント比	細骨材率	単位量(kg/m ³)				
	W/C (%)		S/a (%)	単位水量 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G
①	46.3	65.0	185	400	1113	610	1.30%
②	46.3	62.0	185	400	1061	660	1.30%
③	46.3	67.0	185	400	1147	573	1.30%

(3) 急結剤供給システム

従来の急結剤が粉体であるのに対して、本急結剤は液体であるため、図3 - 1に示す急結剤供給装置に変更した。この急結剤供給システムは使用するアルカリフリー急結剤専用開発されたもので、吐出誤差が1%程度と非常に高精度であり、品質管理上優れている。本急結剤供給システムは、図3 - 2に示すような台車への搭載型、吹付け機搭載型と分ける事ができる。

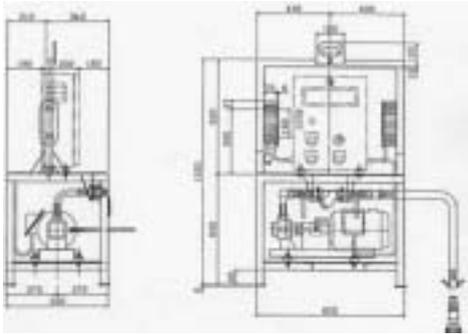


図3 - 1 急結剤供給装置

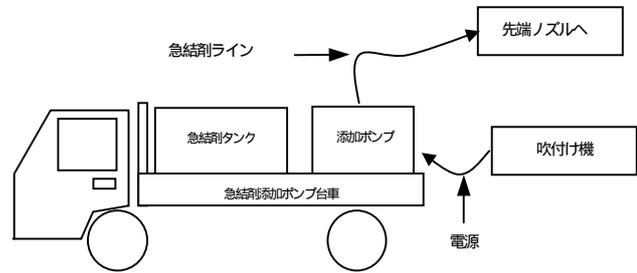


図3 - 2 搭載模式図

(4) 吹付け機

吹付け機は、ピストン式一体型吹付け機(古河)を使用する。急結剤混合を先端ノズルで行うため、図3 - 3に示すように、専用ノズルおよび配管等を変更した。マテリアルホースは高圧タイプに変更した。

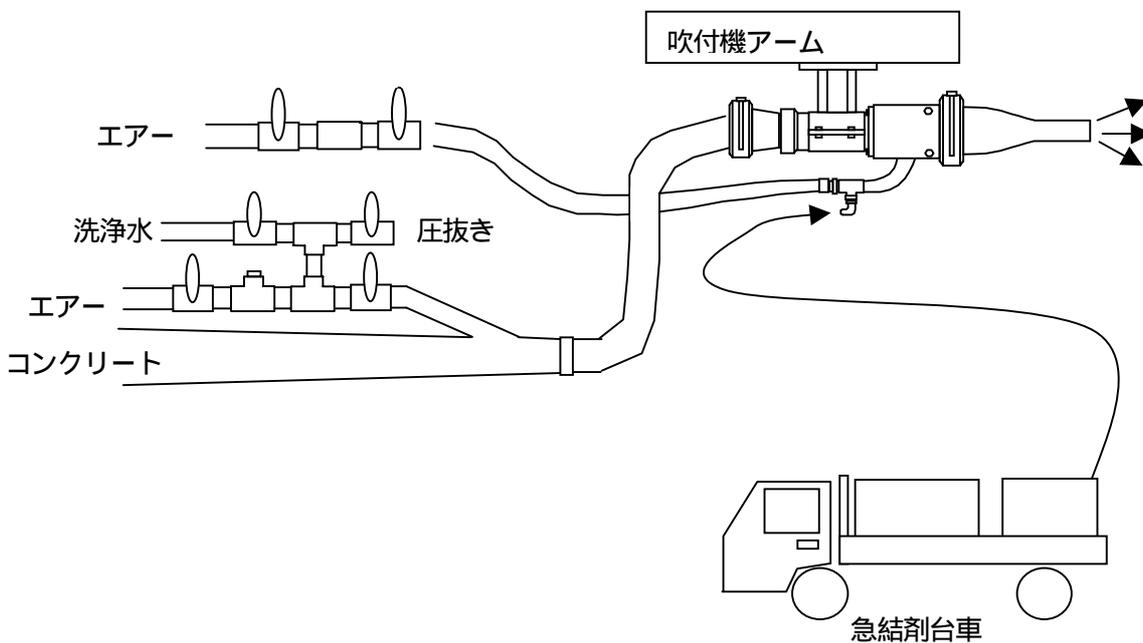


図3 - 3 吹付け機

4 - 2 試験要領

(1) キャリブレーション

1. コンクリート吐出量の測定

- ・スランブを所定の値に管理したコンクリートを用意する。
- ・200ℓ程度のドラム缶を用意し、容量を測定する。
- ・コンクリートポンプを作動させ、ドラム缶に圧送充填し、充填終了までのポンプストローク数および時間を測定し、コンクリート吐出量を算出する。

2. 急結剤吐出量の測定

- ・バケツの空袋重量を測定する。
- ・急結剤添加量Wを下式相当に設定する。

$$W(\text{kg}/\text{min}) = C_i(\text{kg}) \times V(\text{m}^3/\text{hour}) \times X_j(\%) \div 100 \div 60$$

C_i : 単位セメント量 V : コンクリート吐出量 X_j : 添加率

- ・急結剤をバケツへ1分間吐出する。
- ・吐出された急結剤重量を秤にて計量する。

(2) 吹付試験

液体急結剤 AFK-777Jを用いて、下記の試験を実施した。
急結剤添加率は9%を標準とした。

試験項目

スランブ試験(混練り時、現着時)

コンクリート温度測定(混練り時、現着時)

空気量測定(混練り時)

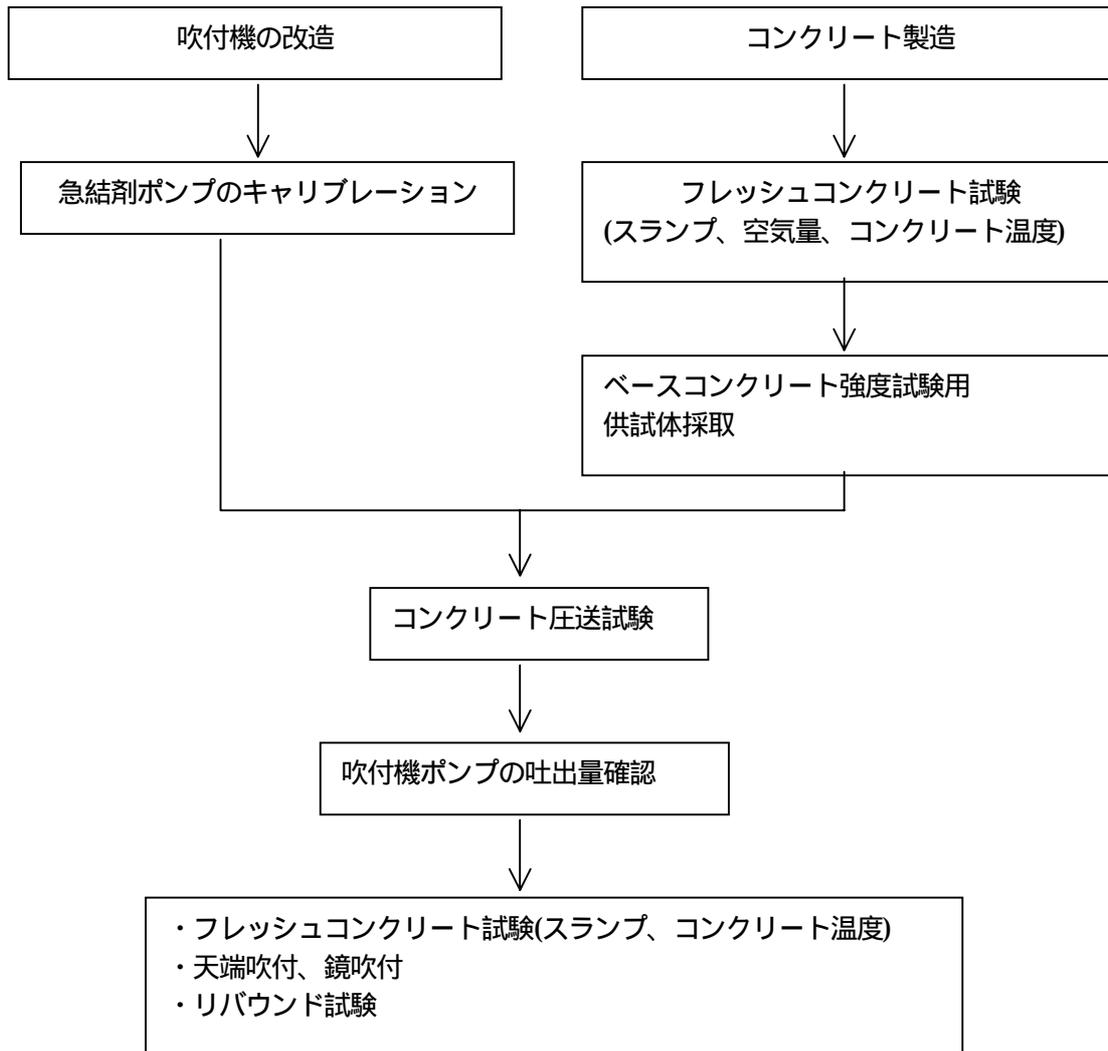
ベースコンクリート強度試験(材齢24h・7日・28日)

コンクリート圧送試験(初回時のみ)

吹付コンクリートの粉じん濃度試験

リバウンド試験

(3) 吹付試験のフロー



5. 試験施工結果報告

5 - 1 吹付コンクリートの試験結果

吹付コンクリート実施試験配合に関しては、3タイプ^①の配合から、目標とするスランプをクリアした配合を採用し試験施工を行った。

試験施工配合

配合	水セメント比	細骨材率	単位量(kg/m ³)				
	W/C		単位水量	セメント	細骨材	粗骨材	混和材
	(%)	W	C	S	G	高性能減水剤	
①	46.3	65.0	185	400	1113	610	1.30%

試験結果

- 1) 吹付コンクリート試験 配合 18-18-15 (N)
 ・スランプ 19.0 cm (目標 18.0 cm)
 ・空気量 2.9 %
 ・コンクリート温度 22
 [コンクリート重量 2308kg / m³]

2) 圧縮強度試験

(3時間強度)

測定日 平成15年11月21日

他トンネル試験データより

*参考値(紛体使用) C=360kg/m³
 2.13N/m²

	圧縮強度 N/mm ²
1	2.8
2	3.4
3	3.3
平均	3.2

(24時間強度)

測定日 平成15年11月21日

*参考値(紛体使用) C=360kg/m³
 14.2N/m²

	圧縮強度 N/mm ²
1	9.6
2	10.3
3	9.8
平均	9.9

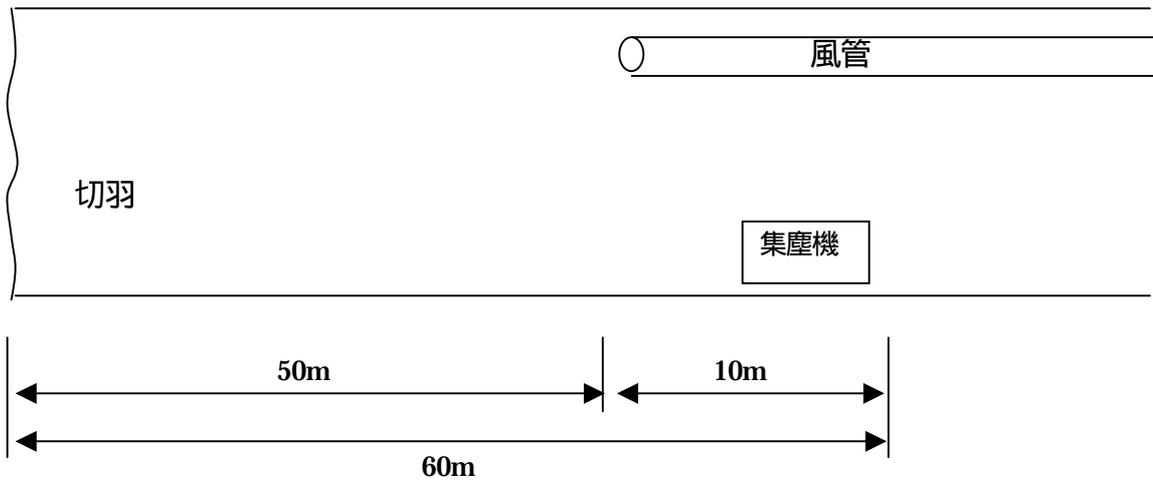
(28日強度)

測定日 平成15年12月18日

*参考値(紛体使用) C=360kg/m³
 29.5N/m²

	圧縮強度 N/mm ²
1	25.5
2	25.3
3	25.0
平均	25.3

5 - 2 低減効果の計測結果
粉塵測定結果



粉じん濃度測定結果表

	施 工 前	液 体 施 工 時	粉 体 施 工 時(参 考)
(切 羽)	0.001 mg/m ³	0.10 1 mg/m ³	7.087 mg/m ³
(切 羽 より 50m)	0.017 mg/m ³	0.955 mg/m ³	2.971 mg/m ³
(集 塵 機 後 方)	0.001 mg/m ³	0.558 mg/m ³	0.700 mg/m ³

5 - 3 リバウンド量の計測結果

[吹付けコンクリート重量 2308kg/m³]
 2308kg × 3 回 = 6924kg (吹き付けは 3 回)
 [リバウンド量 900kg]
 900kg ÷ 6924kg = 12.9

リバウンド率 13%

* リバウンドの実態

吹付コンクリートのリバウンドは紛体急結剤の場合、通常乾式で 30 ~ 40% 湿式で 20 ~ 30%程度といわれている。

5 - 4 施工条件に関する結果

試験施工では、紛体急結剤と比べて良好な結果となったが液体急結剤は、初期強度発現性、湧水箇所への付着性が粉体に比べやや劣ると言われているので、使用に関して予め、湧水対策の配合等を検討し講じておいた方がよい。

又、粉じん発生率は吹付機械によっても左右されるので、ピストン形式を使用した方が良く、現在の使用状況はローターリー形式が約 30%、ピストンが約 70%とピストン形式が多くなってきている。

5 - 5 現地検討（質疑応答）

吹付けコンクリートの現地試験施工は県下8の建設事務所14人に参加をして頂き行なった。現地事務所では試験施工の概略説明を行ってから現地にて試験施工、質疑応答を行なった。試験施工は、マシンのトラブルも無く、スムーズに施工する事ができた。又、予想以上に粉じん発生が少なく、粉じんマスクも不要に思える程であった。

質疑応答

Q：単位セメント量を大きく取るのはなぜか。

A：液体自体が水溶液である為、単位セメント量の増量及び水セメント比の低減が必要である。

Q：コストは従来の急結剤と比較した場合は！

A：材料費そのものは、粉体急結剤と比較すると高い。しかし、粉体急結剤の場合ガイドラインの目標値をクリアする為には、当初設計設備を大きく変更する必要から総合的には高くなる。

Q：リバウンドに関してはどうですか。

A：メーカー試験データでは10%程度とでていますが骨材等の素性によっても変ると言われています。

Q：安全性に関しては！

A：粉体急結剤は高アルカリ性を有す為、しばしば作業員がアルカリ火傷を起こすことがあるが液体急結剤は弱酸性であるので人に害は無い。

6 . まとめ

6 - 1 粉塵低減目標値の提案

今回の試験施工から粉じん濃度を3mg/m³以下に押える事が可能であり、今後の施工は吹付作業を行なっている切羽付近を含め目標レベル3mg/m³以下を提案する。

6 - 2 液体急結剤使用に関する配合の提案

試験施工の実施配合

水 セメント比	細骨材率	水	セメント	細骨材	粗骨材	混和材	液体急結剤
						* C	* C
46.30%	65%	185	400	1113	610	1.3%	10%

吹き付けコンクリートは初期強度が重要であり、液体急結剤は粉体急結剤に比べて強度発現が若干遅れる。この要因として、液体使用時はピストン形式の吹付機械を使用して極力エアを押えた施工方法を採用しているのでスランプを大きくしワーカビリティを良くする必要がある。

よって、液体急結剤使用の場合は、付着性能、初期強度発現を増進させる為、単位セメント量を大きくした配合が望ましい。

6 - 3 液体急結剤の使用上の留意点

液体急結剤は初期強度発現性、湧水個所への付着性が粉体に比べやや劣るため、湧水が多い場合、別途配合等を事前に対策を講じておくと良い。

6 - 4 総合考察と今後の課題

考 察

- 1：切羽付近（オペレーター操作）で粉じん濃度 $0.101\text{mg}/\text{m}^3$ を測定した。この値はガイドラインの目標値 $3\text{mg}/\text{m}^3$ を大きくクリアした。
- 2：吹き付けコンクリートのはね返り率（リバウンド率）の測定値は 13%であった。この数値は通常の粉体急結剤を使用した場合の約 50%程度と非常に少ない結果が得られた。
- 3：粉じんの発生量が少ないので作業場周辺の視界がとても良く見え、労働者の安全環境が向上する。品質に関しても視界良好な環境で作業できるの施工、品質が向上する。

課 題

- 1：液体使用の吹き付けコンクリートは単純に材料費だけをとらえて見れば、 m^3 当たり倍近くの単価になります。その事が普及を阻害している最大の原因である。
しかし、液体急結剤の効果は前書のように非常に優れているので、普及させるべきである。
普及しないのは、厳しい経済環境からコスト低減が前面に出ており、直接費だけをとらえ、総合的に判断する余裕が無いのではないのでしょうか。
今後、普及させる為に、どのようにPRし取り入れて頂くかが課題である。

7, 試験施工 施工状況

粉体急結剤使用の吹付コンクリート施工状況



粉じん発生量が多く視界が悪い

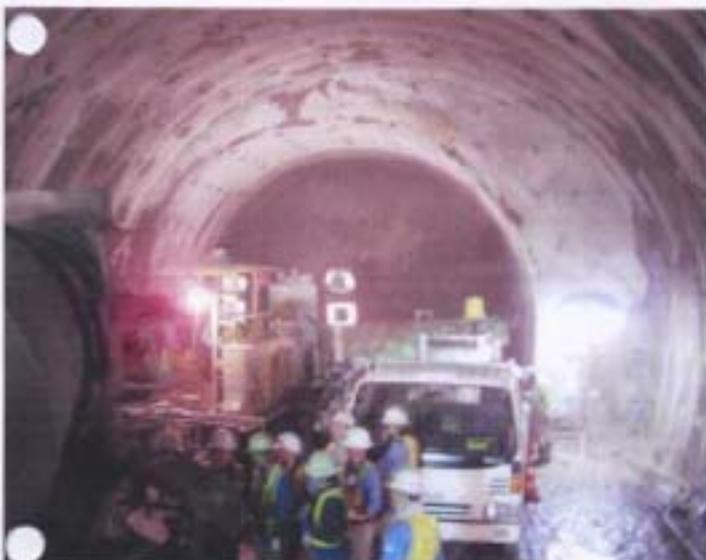
液体急結剤使用の吹付コンクリート施工状況



粉じん発生量が非常に少なく視界が良い



液体急結試験施工
液体添加装置



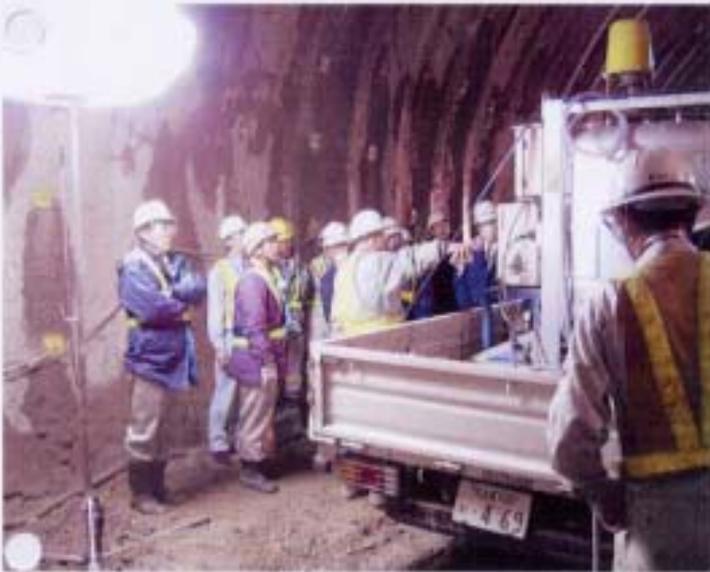
液体急結試験施工
吹付け機配置状況



液体急結試験施工
スランプ・空気量測定



液体急結試験施工
現場説明



液体急結試験施工
現場説明



液体急結試験施工
現場説明



液体急結試験施工
吹付け状況



液体急結試験施工
吹付け状況



液体急結試験施工
吹付け状況



液体急結試験施工

吹付け状況



液体急結試験施工

吹付け状況



液体急結試験施工

吹付け状況



液体急結試験施工

液体急結剤説明



液体急結試験施工

液体急結剤説明



液体急結試験施工

液体急結剤説明