

20. 小断面トンネル吹付けシステムの開発

三井住友建設㈱：*山下 高俊、中野 陽一、長野 祐司

1. はじめに

トンネル建設工事において、コンクリート吹付けは特に粉じん発生量の多い作業である。小断面トンネルの場合、一般に人力で吹付けを行うことが多く、狭隘な場所で多量の粉じんが発生するため、非常に過酷な環境下での作業となり、骨材のはね返りやノズルの取り回し等にも注意が必要である。

本報文は小断面トンネルでの粉じん低減および省力化を目的に開発した遠心力方式による吹付けシステムの概要について報告する。

2. 吹付けシステムの概要

(1) 開発経緯

吹付け作業における粉じん低減技術としては、主に以下のようなことが考えられる。

- ① 換気・集じん設備の増強（大容量換気、大型集じん機の配置等）
- ② 吹付け材料の改良（粉じん低減剤、液体急結剤等）
- ③ 新方式による吹付け（遠心力吹付け機等）

通常、吹付け作業はエア方式が多く採用されているため、上記の検討課題のうち主に①および②についての解決が進められている。しかし小断面トンネル(TBMを含む)においては、スペース的な制約から①の方法は難しく、②または③による粉じん低減方法が最も有効であると考えられる。

③のうち遠心力吹付け機については、これまでに深礎、立坑、大断面のトンネル用としてそれぞれ開発を進めてきており、これらの試験結果から通常のエアー吹付け方式よりも粉じん発生量が低減できることが確認されている。この技術を応用して、小断面トンネル工事の吹付け時の作業環境改善を図ることとした。

(2) 遠心力吹付け機の構造

遠心力吹付け方式は、圧縮空気を使用せず高速回転するインペラの遠心力により、吹付け材料を投射し吹付けを行う新方式の吹付け方法である。

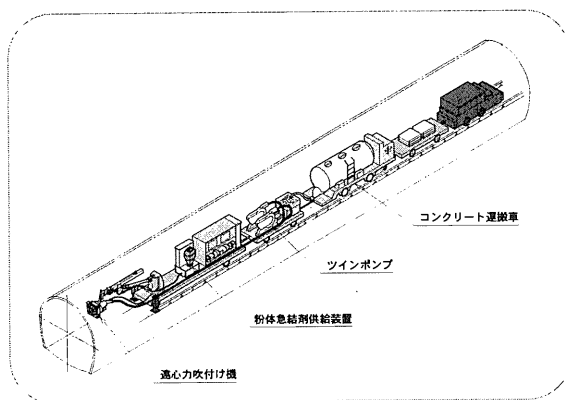


図-1 小断面吹付けシステムイメージ図

一般にエア吹付け方式の場合、使用する圧縮空気の消費量の増加に伴い、粉じん発生量も増大することが知られている。また急結剤はマテリアルホースへの吹込みによる添加方式であるため、未混合のまま空气中に拡散するものも多く、これも粉じん発生量が多い原因となっている。

一方遠心力吹付け方式の場合は、機械的な混合により未混合の急結剤が減少し、空気中への拡散も少ないため粉じん発生量が非常に少ないという特長がある。図-2に遠心力吹付け機の構造を示す。

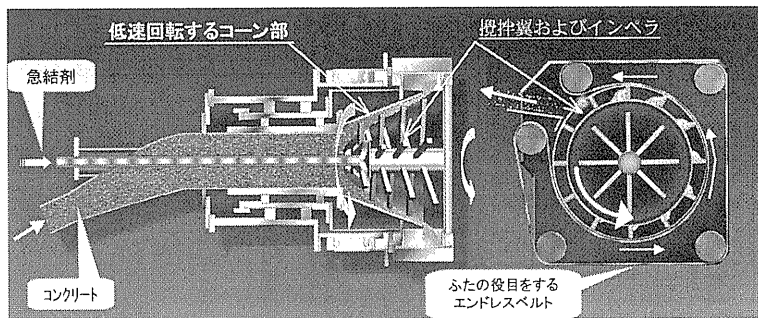


図-2 遠心力吹付け機の構造

3. 実証試験

(1) 吹付け装置

本システムの開発にあたっては、小断面トンネル（TBM含む）における吹付け作業を想定し、模擬トンネルと吹付け装置を製作して、吹付け実証試験を行った。

本試験に用いた吹付け装置には以下の機構を装備した。

- 1) 通常の吹付けコンクリートと急結剤が使用可能。
- 2) 遠心力吹付け機本体の移動はガイドに沿って旋回・スライドさせる機構とし、動作速度は任意調整が可能。
- 3) 遠隔操作方式とし、手動／自動両方での吹付けが可能。
- 4) 吹付け機本体を前後に傾斜させることで、支保工背面のコンクリート充填が可能。

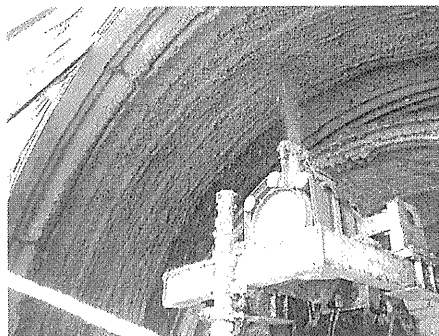


写真-1 模擬トンネル吹付け状況

尚、模擬トンネルはR=2.0mと2.5mの2種類を設置し、投射距離0.5～1.0m程度を目標に吹付け試験を行った。写真-1に模擬トンネルでの吹付け状況を示す。

(2) 材料供給装置

吹付け粉じんを低減させる条件のうち、コンクリートを低容量でかつ脈動無く連続供給させることは、最も重要な課題であった。試験当初、コンクリート供給にスクリュークリートを使用したのが、より低容量で安定した供給を行うためコンクリートポンプの並列運転を検討した。しかしピストン式ポンプの場合、同調運転が難しく設備も大きなものになってしまうため、スクイズポンプをツイーン式に改造し可変式連続供給を可能とした。これにより、遠心力吹付け機内部でのコンクリートと急結剤との混合効果が十分に発揮され、投射距離や旋回速度に応じた最適な吹付け吐出量も調べることができ、より低粉じん化を図ることができた。

また急結剤については、粉体と液体のどちらも使用可能であるが粉体急結剤の場合の供給装置は、材料搬送に多量の圧縮空気を用いないため、通常使用されているものより簡素化した少送気式の供給装置を使用している。

(3) 吹付け材料

本システムは開発当初より、標準的な吹付け材料での施工を目標としており、吹付けコンクリートは標準的な配合のものを主体に試験を行った。

急結剤については表-1の2種類の粉体急結剤を使用し比較を行った。

表-1 急結剤の種類

性状	名称	製造者	備考
粉体	ナトミックT-5	電気化学工業	一般的に使用されている
粉体	ショットマスターR	太平洋マテリアル	粉塵抑制型

4. 吹付け試験結果

吹付けは所定の強度や仕上がりを確保し、かつ粉じん低減効果の大きい方法を検討した。

(1) 吹付け試験強度

強度試験は同条件において、遠心力方式と通常のエアー方式の2種類の方式で行い、所定の強度が確保されていることが確認された。表-2に試験強度の平均値を示す。尚、参考値として基準強度を記す。

表-2 吹付け試験強度結果

吹付け方法	σ 24 h (N/mm ²)	σ 28 d (N/mm ²)	備考
①遠心力方式	7.2	26.2	粉体急結剤7%添加
②エアー方式	7.7	28.5	粉体急結剤7%添加
③基準強度	5	18	

(2) 粉じん濃度測定

粉塵低減効果を確認するため密閉した模擬トンネル内において、遠心力方式とエアー方式の場合の粉じん濃度の比較を行った。尚測定は換気設備を設けず、吹付け断面の前方1.0~1.5m付近においてガイドラインに準じた方式で行い、デジタル粉じん計による相対濃度(CPM)で記している。

吹付け試験における粉じん濃度測定結果を表-3に、粉じん発生状況を写真-2、写真-3に示す。

表-3 粉じん測定結果

吹付方式	吹付コンクリート	急結剤	相対濃度 cpm	(参考値) K値0.04 とした場合 の換算値 mg/m ³	吹付け 容量 m ³ /H
エアー方式	標準配合	粉体(ナトミックT-5)	1166	(47.0)	4
遠心力方式	標準配合	粉体(ナトミックT-5)	136	(5.4)	4
	標準配合	粉体(ショットマスター-R)	43	(1.7)	4

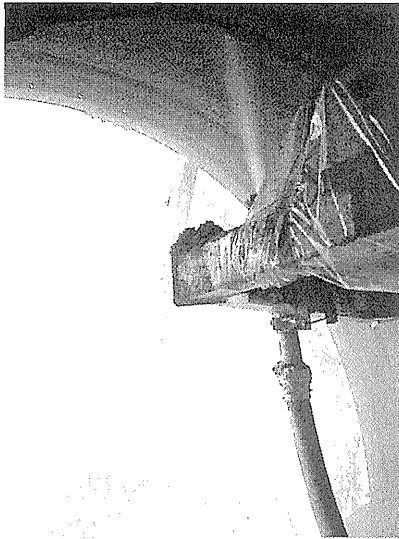


写真-2 エア方式吹付け状況



写真-3 遠心力方式吹付け状況

上記粉じん測定結果より、本システムは粉じん濃度は通常のエア方式に比べ、従来型粉体急結剤を使用した場合で $1/6 \sim 1/9$ 、さらに低粉じん対応型粉体急結剤を用いた場合では $1/20 \sim 1/30$ にまで低減させることができた。

5. まとめ

本開発において超低粉じんの小断面トンネル吹付システムが実現できた要因としては以下のようことが考えられる。

- 1) 従来の圧縮空気を全く使用しない、遠心力方式を採用した。
- 2) 投射距離 $0.4\text{m} \sim 0.9\text{m}$ の範囲での近接吹付けにより、狭隘なスペースにも吹付機本体をレイアウトすることを可能とした。
- 3) コンクリートポンプの改良により脈動のない連続供給を可能とし、急結剤の混合効果を改善することができた。
- 4) コンクリートポンプの低吐出量調整を可能とし、 $2 \sim 6\text{m}^3/\text{h}$ の低容量での吹付けを行うことで、粉じん発生量を抑えることができた。
- 5) 粉じん低減型粉体急結剤の使用により、さらに粉じんを抑制することができた。

本システムは、小断面トンネル工事において吹付け粉じんを低減させ、切羽での作業環境を改善することに有効であることが確認され、この吹付けシステムの採用により、これまでの吹付け作業環境は大幅な改善が可能となる。今後システム全体の構成、施工性、耐久性等についてさらに確認や改良を行い、水路トンネル等の中小断面トンネル(TBM含む)およびトンネルの活線拡幅工事、トンネル補修等の狭隘なスペースでの作業環境改善に適用したいと考えている。