

17. 高効率、低粉じん型吹付けコンクリート工法の技術報告（遠心吹付け工法：ケレスシステム）

日本国土開発㈱：奥津 一俊

1. はじめに

NATMの吹付けコンクリート工法は、作業環境への負担軽減、苦渋作業の軽減等の社会情勢を踏まえ、低粉じん型工法が建設省のパイロット事業等をとおして定着しつつある。

また、3車線断面道路トンネルに見られるような大断面化、施工の対象地山範囲の大幅な拡大化等が進み、発生応力度が従来より極めて大きくなるため、吹付け工法にも変化が求められ新しい工法を模索する時期に突入したと考える。

この状況下で、低粉じん、高品質、高強度、高耐久性吹付けコンクリート工法が各機関で研究・開発されているなか、当社では低粉じん型吹付け工法であるケレスシステムの適用拡大を図るため、施工実績の蓄積、実証実験等を行っている。

今回の報告は、ケレスシステムが低粉じん、高品質、高効率、高強度に適する工法であると判断できる内容を提供するものである。

2. ケレスシステムの概要

ケレスシステムは、写真-1に示すように粉体急結材を使用する湿式吹付方式であり、図-1に示すように定量搬送されたコンクリートと粉体急結材を遠心吹付装置内で攪拌混合したのち、水車形状したロータの高速回転によりコンクリートに遠心力を与え、吹付ける吹付方式である。

ケレスシステムの特長としては、

- ①粉じん発生原因である圧縮空気使用量が微量なため発生粉じん量を大幅に低減できること、
- ②コンプレッサー設備、受電設備及び使用電気料金等を大幅に縮小できること、
- ③坑内配管が不要であること

等を有し、従来の空気吹付けコンクリート方式と比して経済性、作業環境等に対し優位性がある。

ケレスシステムの機械構成は、図-2に示すように①遠心吹付装置、②多関節マニピュレータ、③急結材供給装置、④エアコンプレッサー、⑤エアドライヤー、⑥コンクリートポンプ、⑦ケーブルリール⑧電源制御盤、⑨油圧ユニット、⑩油圧駆動型高圧洗浄機等で、ホイール式自走台車およびレール台車等に搭載したコンパクトな形状としている。



写真-1 ケレスシステム全体

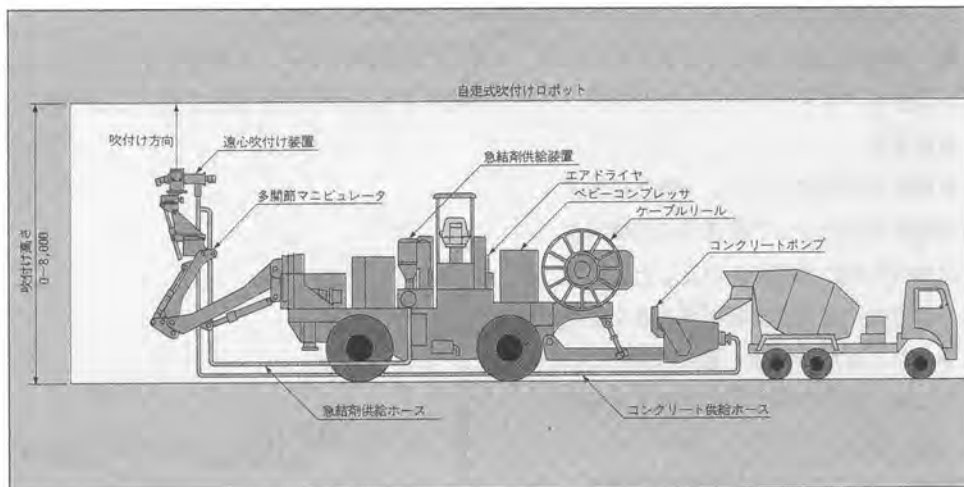


図-1 ケレスシステム概略図

遠心吹付け装置	最大吹付け能力	10m ³ /h
	ロータ寸法・回転数	φ400×150mm・700～1200rpm
	攪拌スクリュウ回転数	150～250rpm
コンクリートポンプ	吐出能力	10m ³ /h
	電動機出力	3相400V、30kW
急結剤供給装置	供給能力	3.0～10.0kg/min
	タンク容量	150ℓ
	吐出空気量	0.4Nm ³ /min
	ベビーコンプレッサ	7kgf/cm ² 、5.5kW
	エアドライヤ	0.38kW
ロボットアーム	吹付け高さ	0～8000mm
	水平移動距離	1500mm
	操作方式	電気式リモートコントロール
走行台車	走行速度	8.5km/h
	登坂能力	30%
	運転席・操舵装置	横向運転席・4輪操舵
給電装置	供給電源	3相400V、200A
	ケーブルリール	4心、60mm ² 、80m
寸法・重量	全長×全高×全幅	11300×3130×2400mm
	全装備重量	18500kg

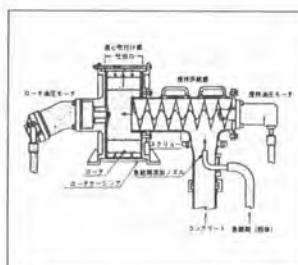


図-2 ケレスシステム機械構成図

なお、当ケレスシステムは、適用するトンネルの断面積、掘削方式等の相違に対応できるように以下に示す機種を有している。

- ①ショートベンチカット用ホイール式自走台車形式（全断面積：50m²～100m²）
- ②全断面掘削用ホイール式自走台車形式（全断面積：30m²～50m²）
- ③小断面（10m²クラス）用ホイール式自走台車形式
- ④小断面（10m²クラス）用レール台車形式

3. ケレスシステムの適用性の判定

低粉じんでクリーンな作業環境を実現したケレスシステムは、遠心力を利用した吹付コンクリート工法である。そのため、コンクリートを投射する回転部に摩擦を生ずるが、その量は現場条件によって大きな差があることが施工実績（現在まで施工吹付けコンクリート数量=20,000m³、施工延長=3,000m）より明らかになっている。この原因として、骨材の物性が関与していると推察されたので、各現場の骨

材について一連の物性試験を実施し、施工時の機械摩耗量との関係を把握した。

その結果、骨材の品質によってはケレスシステムの導入が不経済なケースも判明できたため、ここでは、骨材の品質をパラメーターとしてケレスシステムが適用できるかの判定方法について述べる。

3-1 判定方法

細骨材の適用性の判定方法は、一軸圧縮強度や圧裂引張試験およびシヤ硬度等の試験のように、供試体の作成に手間がかかること、異方性の試料では方向によって試験値が大きく変動すること等より、骨材の評価・選定試験として適切でないため、以下に示す摩耗試験方法を開発して行っている。

摩耗試験は、図-3に示す試験装置であり、小さい鉄製羽根(斜線部、材質：SS41)を取り付けたロッドを骨材中で回転させ、羽根のすりへり減量を測定するものである。骨材は、一定の粒度配合(標準的細骨材粒度)に調整した気乾試料を1試験あたり2kg仕様する。羽根の

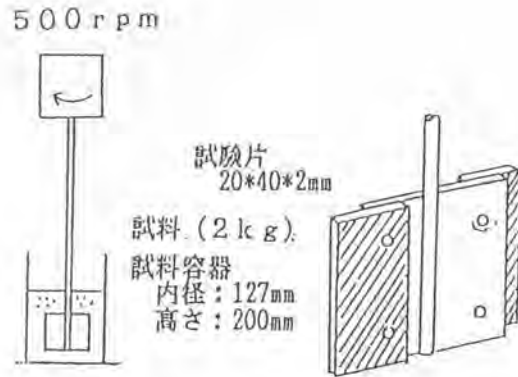


図-3 摩耗試験装置概要図

重量は、試験前と攪半時間(10、20、30min)のときに測定する。同一現場の試料について試験を3回行い、30分攪半時の羽根すりへり減量の平均値を当該骨材の評価値とした。

また、粗骨材の試験方法は、骨材の集合体を対象とした試験であることおよび試験方法が比較的容易であること等を考慮してピッカース硬度試験を採用した。

3-2 ケレスシステム適用限界値

適用限界値は、機械消耗率、材料ロス率、電気料金および機械費等を考慮して従来の空気吹付けコンクリート方式と同等な経済ベースが確保できる骨材の判定値とする。

(ケレスシステム適用限界値)：①粗骨材に対し：ピッカース硬度試験値=700、0以下

②細骨材に対し：摩耗試験値=10、50以下

4. 低粉じん型の実績

ケレスシステムによる吹付けコンクリートで発生する粉じん濃度を施工実績により整理し、従来の空気吹付けコンクリート方式と対比する。

測定要領は、毎月2回デジタル粉じん測定器で、吹付けコンクリート作業中の切羽付近で実施した。

なお、測定したトンネル数は10トンネルであり、それぞれのトンネルについて空気吹付けコンクリート方式とケレスシステムによる吹付けコンクリート方式を同一の換気設備の環境下で実施した。その結果を図-4に示す。

現場測定結果より理解できるように、従来の空気吹付けコンクリート方式で発生する粉じん量の35%に抑えられていること、換気量増大に伴う効果の度合いは従来の空気吹付けコンクリート方式の2.6倍であること、等が理解できる。

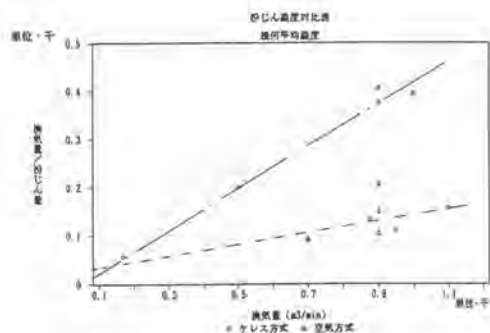


図-4 粉じん発生量対比グラフ

5. 高品質型、高効率型の実績

ケレスシステムが、高品質型、高効率型であることを同一トンネルで、従来工法の空気吹付けコンクリート方式と比較した。その結果、表-1に示すように従来工法と同等または同等以上の品質や効率が確保されていることが理解できる。

表-1 吹付けコンクリートの品質、効率等に関する比較表

種 別	単 位	ケレスシステム	従 来 工 法	備 考
透水係数	cm/sec	2.99×10^{-7}	2.26×10^{-7}	室内透水試験
付着力	kg/cm ²	11.4	11.2	コア試験
単位体積重量	t/m ³	2.2	2.2	コア試料
吹付け能力	m ³ /h	8.5	8.5	ショートパツカト工法
余吹き率	%	3.65	3.84	CIIパター、上半
急結材添加量	%	7.3	7.7	CIIパター、上半

6. 高強度型の実績

高強度・高品質吹付けコンクリートでは、コンクリート材料の性状と施工のシステム機能等がなかなか適合しない場合があり、粘性の高いコンクリートに対する施工性やコンクリート圧送の定量性等に問題がある。そこで、空気によるコンクリートの圧送を行わないケレスシステムで、粘性の高いコンクリートに対し定量的に吹付けコンクリートが施工できるかの現場試験を実施した。その結果、計画時に算定した吹付け能力8m³/hを十分に確保できることが判明した。

7. おわりに

低粉じん型吹付け工法として開発したケレスシステムは、施工実績等を踏まえその適用範囲を高品質型、高効率型および高強度型等に拡大することができた。

今後は、2車線断面を全断面で施工できるシステムの開発、吹付け能力の向上および適用骨材の範囲拡大等に対応していき、今後のトンネル需要を考慮し研究開発および施工実績の蓄積等を行っていく所存である。