石炭灰混合によるトンネル吹付けコンクリートの粉じん発生量の低減効果

（独）鉄道建設・運輸施設整備支援機構　正会員　北井慶一
山口大学大学院　学生会員　○岸田展明　飛島建設　正会員　筒井隆規
飛島建設　正会員　平間昭信　山口大学大学院　正会員　進士正人

1. はじめに

山岳トンネル工法の標準工法であるNATMでは，吹付けコンクリート作業を欠くことはできず，発生粉じんによる坑内作業環境の悪化は避けられない．一方，環境問題への取り組みの一つとして，吹付け作業時の粉じん低減効果を期待し，石炭火力発電所から廃棄物として排出される石炭灰をセメントの一部代替や細骨材置換として吹付けコンクリートに混合する試みがなされている．しかし，吹付けコンクリートの石炭灰混入による粉じん低減効果を定量的に評価した研究は少ない．

本研究は，発生粉じんの低減を目的として，石炭灰の配合比率を種々変化させた吹付けコンクリートについて現場試験を実施し，吹付け作業中に発生する粉じん濃度の測定および，浮遊粉じんの採取を行ない，粉じんの成分分析および粒度分布を測定し，石炭灰混入による吹付けコンクリートの粉じん低減効果について検討した．

2. 石炭灰を混合することによる吹付けコンクリートの粉じん低減効果

石炭灰をコンクリートに混合することにより，吹付けコンクリートの粘性が増加する．これにより，地山との付着性が向上し，はね返りが減少，吹付け作業中の発生粉じんの低減効果が期待できると言われている[1)]．しかし，石炭灰をセメントの一部として置換する場合には，支保部材である吹付けコンクリートの最も重要な要求性能である初期強度の発現が遅れるという課題を有している．

3. 粉じん測定の概要

3.1 測定機器

①ローボリュームサンプラー（**写真-1**），②光散乱式デジタル粉じん計（**写真-2**）を用いて浮遊粉じんの採取および粉じん濃度測定を行った．①は1分当りの吸引量（15,20L/min.）を予め設定し，一定の積算流量(m^3)まで空気を吸引し，分粒器にセットしたろ紙に粉じんを採取した．そして、測定前後のろ紙の質量を測定し、また，ろ紙に採取した粉じんを低真空電子顕微鏡（SEM）で観察した．**写真-3**にSEM画像の一例を示す．②は測定機の吸引孔に入ってきた浮遊粉じんの個数を1分間隔でカウントし，測定器固有の係数（質量濃度換算係数：K値）[3)]を乗じて，粉じん濃度(mg/m^3)を算出する．従って，粉じん量そのものは，K値に大きく依存するものであるが，1分間隔の粉じん濃度の経時変化が把握できる長所がある．

写真-1 ローボリュームサンプラー

写真-2 デジタル粉じん

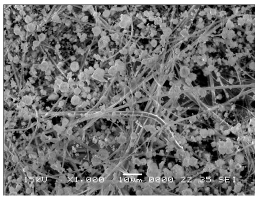


写真-3 SEM画像（粉じん）

3.2 測定場所・位置

現場測定は，山口県道山口宇部線道路改良小郡トンネル工事で実施した．また，トンネル内の測定場所は切羽後方20，50mの2地点で行った[3)]．

3.3 吹付けコンクリートの配合

本研究では，**表-1**に示すような配合について吹付けを行ない，粉じん量，はね返り量を測定した．配合の呼び名は右の通りである．

表-1 試験施工での吹付けコンクリート配合

配合 No	水セメント比 W/C (%)	水結合材比 W/(C+ (%)	細骨材率 s/a (%)	石炭灰置換率 セメント置換率 (vol%)	石炭灰置換率 細骨材置換率 (vol%)	単位量 (kg/m^3) 水 W	単位量 結合材 C	単位量 結合材 F	単位量 細骨材 S	単位量 細骨材 F	単位量 粗骨材 G
M-2	68.2	51.5	60	**10**	7	221	324	**36**	907	**69**	696
N	62.5	62.5		**0**	0	225	360	0	988	0	697
N-2[*1]	63.9	63.9		**0**	0	230	360	0	980	0	692
M-4	76.7	54		**20**	5	221	288	**72**	923	**49**	691

N　：一般的な吹付け配合（石炭灰なし）

N-2：Nパターンに粉じん低減剤（添加量はC×0.1）[※1]を添加した配合

M-2：石炭灰を，セメント10%置換，細骨材置換した配合

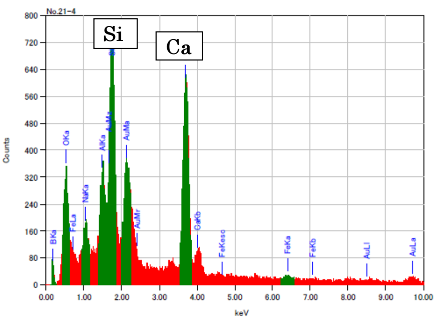
M-4：石炭灰を，セメント20%置換，細骨材置換した配合

キーワード：トンネル，石炭灰，粉じん，はね返り
連絡先：〒755-8611 宇部市常盤台2-16-1 山口大学工学部 TEL (0836)85-9332

4. 現場測定結果

4.1 浮遊粉じんの成分分析

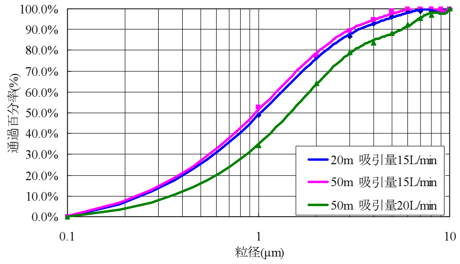
図−1にM-2配合のスペクトル分析結果を示す．図 −1に示されるように、遊粉じんはCa，Siに強い反応を示していることから，浮遊粉じんは主にセメント成分であると推察される．また，他の配合についても同様な結果が得られた．



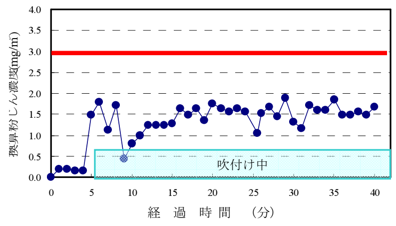
図−4−1 粉じんのスペクトル分析

4.2 粒度分布

写真−3に示すSEM画像から1μm以上の粉じんの個数を計測した．図−2にM-2の粒径加積曲線を示す．図に示すように，切羽20m，50m地点ともに，粒度分布に大きな差異が認められない．したがって，測定した50m以内においては，ほぼ同様の粒度分布を有する粉じんがトンネル坑内に浮遊しているものと考えられる．また，人体に有害な粒径と言われている1～2μm[3]の粉じんが約80％も含まれていることが明らかとなった．



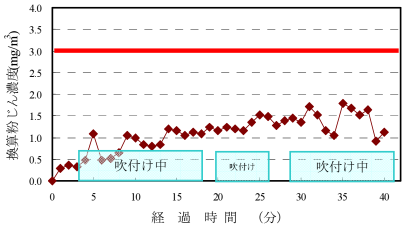
図−2 粒径加積曲線（M-2）



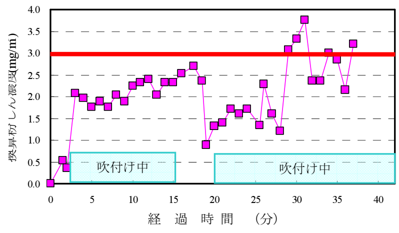
図−3 粉じん濃度（M-2）

4.3 粉じん濃度結果

図 - 3から5にデジタル粉じん計の測定結果を示す．図に示すように，石炭灰を混合したM-2（セメント10％置換）はほぼ1.5mg/m^3，N-2（粉じん低減剤）は1.5mg/m^{3}以下と，図−5に示す一般的な吹付けと比較して小さい値であり、その粉じん低減効果が確認できた．

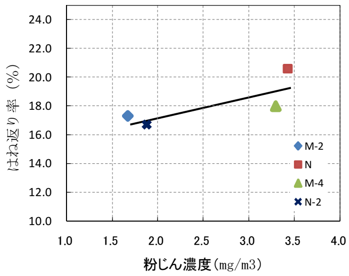


図−4 粉じん濃度（N-2）



図−5 粉じん濃度（N）

更に，図−6に示すように，ローボリュームサンプラーで測定した平均的な粉じん濃度からも、石炭灰の粉じん低減効果を確認され，M-2（セメント10％置換）ではN-2と同様な低減効果を有することが確認された．また，図－6に示すように，粉じん濃度とはね返り率には相関性があり，はね返りを低減することにより，粉じん低減につながることが分かった．しかし，さらに多く石炭灰を混入しても，コンクリートの粘着性が増し，圧送性が低下することにより，吹付け機が脈動を生じやすくなり，結果的に粉じん低減効果は期待できないことが分かった．



図−6 ローボリュームサンプラーによる粉じん濃度とはね返り率

5. まとめ

本研究で得られた知見を以下にまとめる．

①SEMによるスペクトル分析により，吹付け時の発生粉じんは主にセメント成分である．

②切羽から50m以内においては距離に関係なく，ほぼ同じ粒度分布を有する粉じんが浮遊している．

③適切に石炭灰を混入することにより，吹付けコンクリート時の発生粉じんが低減する．

④粉じん濃度とはね返り率には相関性がある．

6. 謝辞

本研究において，現場実験にご協力を頂いた山口県山口土木建築事務所，飛島建設・フジタ・藤本工業・栗本特定建設工事小郡トンネル作業所をはじめ，関係頂いた多くの方々に深く感謝致します．

〈参考文献〉

1) 社団法人土木学会：吹付けコンクリート指針（案）[トンネル編]，pp1-2,9-16 ，2005年
2) 監修 小林一輔：コンクリート実務便覧，㈱オーム社，p45，pp49-51，2006年
3) 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《設計および粉じん等の測定》，pp9,127-132，2004年