

## シリカフュームによる吹付けコンクリートの性能改善に関する一考察

飛鳥建設 正会員○岩城 圭介 正会員 平間 昭信  
エルケムジャパン 山本 邦雄 吉澤 啓典

## 1. はじめに

山岳トンネル標準工法の吹付けコンクリートにおけるシリカフュームの用途は、これまで、吹付けコンクリートの高強度化や高品質化といった高付加価値材料としての用途に限定されていた。著者らは既報<sup>1)</sup>において、一般的な単位結合材量  $360 \text{ kg/m}^3$  の範囲で、シリカフュームによる吹付けコンクリートの粒度分布の改善について検討し、粒度分布の指標化を提案するとともに、シリカフュームの適正量 ( $B \times 2 \sim 4\%$ ) の添加が吹付けコンクリートの凝結性状や強度発現性状の改善に寄与する可能性を示した。

本研究では、既報で明らかとなったシリカフュームによる凝結性状の改善効果に着目し、これにともなう急結剤添加量の低減の可否について、室内試験による検討を行った。なお、吹付けコンクリートにおける急結剤添加量の低減は、材料コストの低減のみならず、長期強度発現の阻害要因の低減、吹付け時の粉じん発生源の低減といった吹付けコンクリートの高品質化への寄与が期待される。

## 2. 使用材料および試験配合

表-1 試験配合

種類	記号	諸元
粉体シリカフューム	MS	密度 $2.20 \text{ g/cm}^3$
シリカフュームスラリー	SL	固形分密度 $2.20 \text{ g/cm}^3$ , 固形分 $41\%$
セメント	C	普通ポルトランドセメント, 密度 $3.16 \text{ g/cm}^3$
細骨材	S	砕砂, 表乾密度 $2.64 \text{ g/cm}^3$ , 吸水率 $1.32\%$ , 粗粒率 $3.05$
粗骨材	G	6号砕石, 表乾密度 $2.67 \text{ g/cm}^3$ , 吸水率 $0.58\%$ , 粗粒率 $6.37$
急結剤	Ac	カルシウムアルミネート系, 粉体急結剤
高性能減水剤	Sp	吹付けコンクリート用, ポリエチレングリコール系高分子化合物

使用材料を表-1に示す。本研究では、粉体シリカフューム MS に加え、シリカフュームスラリー SL についても検討した。

試験配合は、表-2に示すように、一般的な単位セメント量  $360 \text{ kg/m}^3$  の N-7 配合を基本として、単位結合材量 B (C+MS+SL), 単位水量 W, 単位粗骨材量 G を一定とした。また、既報を参考に、結合材に対する MS/SL 置換率を 2, 3, 4, 5%と設定するとともに、Ac 添加率 (外割,  $B \times \text{wt}\%$ ) を 7, 6, 5%とした。なお、SL の単位量は、固形分で表示した。

また、フレッシュ性状に関しては、急結剤無添加のコンクリートの試験練りを行い、各配合のスランプが  $8 \pm 0.5 \text{ cm}$  となるように Sp 添加量を調整した。

なお、凝結試験、圧縮強度試験では、上記配合のモルタル部分を対象とした。

## 3. 試験方法

(1) **凝結時間** JSCE-D 102「急結剤品質規格」の「貫入抵抗による凝結試験時間測定方法」に準拠して、急結剤を添加したモルタルの凝結試験を行った。急結剤の添加方法は、実際の吹付け施工を考慮して「モルタル先練り・急結剤後添加」とした。凝結時間 (分) の指標は、始発・終結時間に加え、貫入抵抗値が  $10, 15 \text{ N/mm}^2$  となる経過時間 ST10, ST15 を求め、N-7 配合の凝結時間に対する比 (凝結時間比) で表した。

(2) **圧縮強度** 凝結時間測定と同様に、JSCE-D 102に準拠して材齢 3, 24 時間, 7, 28 日における急結剤を添加したモルタルの圧縮強度試験を行った。また、各配合の圧縮強度を N-7 配合の圧縮強度に対する比 (圧縮強度比) で表した。

表-2 試験配合

Mixture	W/C (%)	W/B (%)	s/a (%)	MS/SL content (B*wt%)	Ac dosage (B*wt%)	Unit content (kg/m <sup>3</sup> )							
						C	MS	SL	W	S	G	Sp	Ac
N-7	61.7	61.7	63.3	0	7	360	-	-	222	1076	631	-	25.2
MS02-7	62.9	61.7	63.3	2	7	353	7.2	-	222	1074	631	0.72	25.2
6					21.6								
5					18.0								
MS03-7	63.6	61.7	63.2	3	7	349	10.8	-	222	1073	631	1.08	25.2
6					21.6								
5					18.0								
MS04-7	64.2	61.7	63.2	4	7	346	14.4	-	222	1071	631	1.44	25.2
6					21.6								
5					18.0								
MS05-7	64.9	61.7	63.2	5	7	342	18.0	-	222	1070	631	1.80	25.2
6					21.6								
5					18.0								
SL04-7	64.2	61.7	63.2	4	7	346	-	14.4	222	1071	631	1.44	25.2
6					21.6								
5					18.0								

キーワード：シリカフューム, 吹付けコンクリート, 急結剤添加率, 凝結性状, 強度発現

飛鳥建設 防災 R&D センター 技術研究所 〒270-0222 千葉県 野田市 木間ヶ瀬 5472 TEL: 04-7198-7559

4. 試験結果および考察

**(1) 凝結性状** 各配合の凝結試験結果を図-1 に示す。また、各配合の凝結時間比と配合ごとの凝結時間比の平均を図-2 に示す。N-7 配合を基準とすると、シリカフュームを添加した各配合の凝結性状は以下のようであった。

Ac 添加率 7%では、N-7 配合と同等以上の急結性を示した。特に、MS 置換率 4%の MS04-7 配合では、凝結時間が 70%程度に短縮される結果であった。また、Ac 添加率 6%では、Ac 添加率 7%に比べて多少の凝結遅延を示すものの、MS05-6 配合および SL04-6 配合において、N-7 配合と同等の急結性を示した。よって、シリカフュームを適正量添加することで、急結剤添加量の低減が可能であると考えられる。

一方、Ac 添加率 5%では、各配合とも Ac 添加率 7%、6%の配合に比べて大幅な凝結遅延を示した。特に、MS02-5 配合および MS03-5 配合では、凝結遅延が著しく、同等の貫入抵抗を得るのに N-7 配合の 10 倍以上の時間を要した。よって、Ac 添加率 5%では、吹付けコンクリートで必要とされる急結性が不十分であり、吹付け後に剥離・剥落を生じる可能性がある。

**(2) 強度発現性状** 各配合の圧縮強度試験の結果を図-3 に示す。また、各配合の材齢ごとの圧縮強度比を図-4 に示す。N-7 配合を基準とすると、シリカフュームを添加した配合の強度発現性状は以下のようであった。

材齢 3 時間、24 時間の初期強度は、Ac 添加率の影響を受け、Ac 添加率が小さいほど低い値を示した。特に材齢 3 時間強度に関しては、Ac 添加率 7%の MS04-7、MS05-7、SL04-7 の各配合で N-7 配合の 120%を超え、逆に、Ac 添加率 5%の場合は、全般的に N-7 配合の 40-70%程度の値を示した。これらの結果は、凝結性状の傾向と合致するものであり、急結剤添加率が低い配合で顕著であった凝結遅延が、初期強度にも影響したと考えられる。

また、各配合の圧縮強度に対する Ac 添加率の影響は、材齢を経るごとに小さくなる傾向であり、材齢 7 日、28 日では、Ac 添加率の影響がほとんど認められなかった。材齢 28 日においては、シリカフュームを添加したすべての配合で N-7 配合の圧縮強度を上回り、シリカフュームのポズラン活性が長期強度発現に寄与したと考えられる。

5. まとめ

MS05-6、SL04-6 の各配合において N-7 配合と同等の凝結性状、強度発現性状が得られたことから、シリカフュームを適正量添加することにより、急結剤添加率を 1%程度低減できる可能性が示された。シリカフュームの添加は、粉じんやはね返りの低減にも有効であると考えられ、今後、試験施工による検証が必要と考える。

【参考文献】1) 岩城圭介, 平間昭信, 山本邦雄, 吉澤啓典: シリカフュームによる吹付けコンクリートの粒度分布改善に関する一考察, 土木学会第 60 回年次学術講演会概要集第 V-351, 2005.

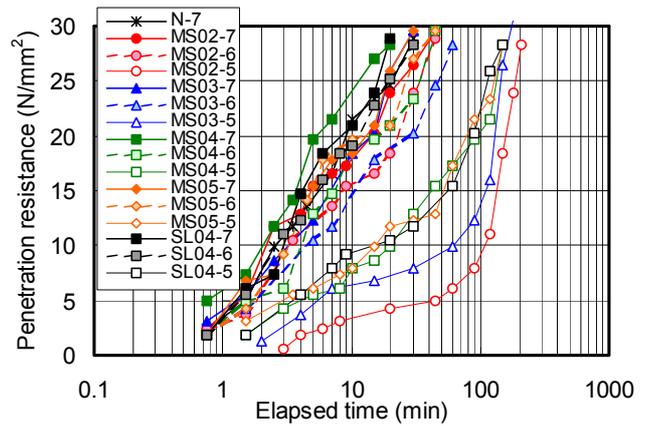


図-1 凝結試験結果

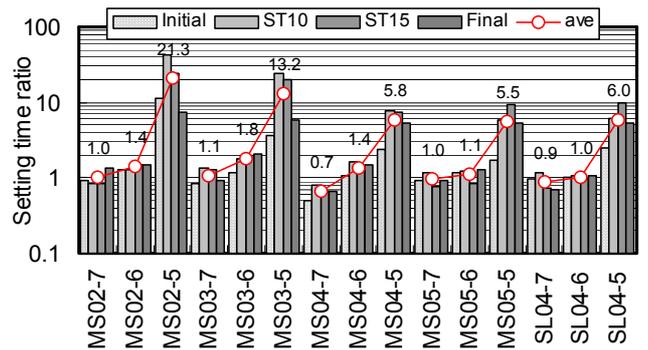


図-2 各配合の凝結時間比

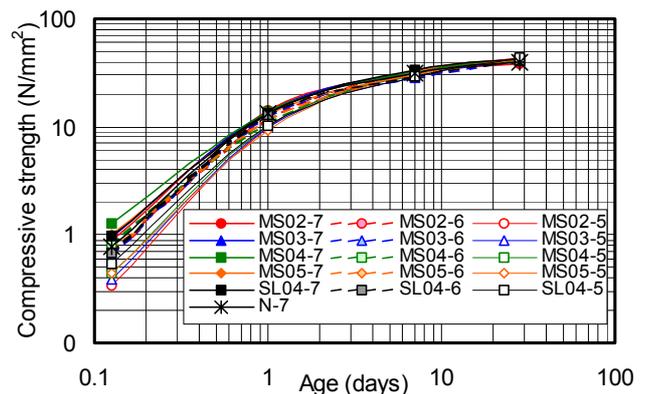


図-3 凝結試験結果

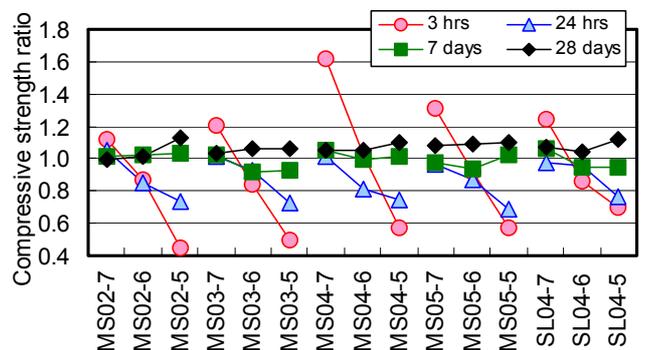


図-4 各配合の凝結時間比