

三成分セメントを使用した吹付けコンクリートの性状

—ポルトランドセメント、シリカフェム及び石灰石微粉末のブレックスセメント—

三菱マテリアル株式会社 正会員 田中純一

三菱マテリアル株式会社 後藤貴弘

三菱マテリアル株式会社 正会員 原田克己

1. まえがき

吹付けコンクリートは練り上がったコンクリートを高圧で吹付けるため、はね返りロスが多く、作業環境の悪化や建設費の増大につながる。そのためにはね返り率の低減は大きな命題である。また、吹付けコンクリートのみで構造物として使用できるような技術開発が行われており、それに伴い吹付けコンクリート用セメントにも高い強度発現性が求められるようになってきている。日本鉄道建設公団は、吹付けコンクリートの混和材として、シリカフェム(SF)および石灰石微粉末(LF)を使用することを標準化した¹⁾。そこで当社は、ポルトランドセメント(N)にSF、LFをセメント工場でブレックスしたセメントを製造した。本報告は、NにSF、LFをブレックスしたセメント(NSC)を、N単味、N、LFをブレックスしたもの(N+SF)およびN、SF、LFをコンクリート材内で混合した場合と比較したものである。

2. 試験概要

(1) 使用材料

試験に使用した材料を表1に示す。NSCはSFを内割りで5%添加し、LFを細骨材の0.15mm以下が15%となるようにN+SFに外割混合した。

(2) コンクリートの配合

表2にコンクリートの配合を示す。

スランプ目標値は14.0±2.0cmとした。

(3) 試験項目

表3に試験項目を表4に供試体の養生方法を示す。はね返り率は、バールに対して垂直の壁面1m×1mの範囲に約50cmの距離から、厚さ10cmになるようにコンクリートを吹付けた際の、はね返った重量(R)を、吹き付けた総重量に対する百分率として求めた。計算方法は式-(1)の通りである。配管内吹は20%とした。

はね返り率(%) = $R / (T. Con - R. Con) \times 100$ -(1)

T. Con : 練り混ぜたコンクリート総量(kg)

R. Con : 配管内吹(kg)

吹付けコンクリート供試体は、垂直の壁面に15×15×53(cm)の型枠を立てかけ、50cm程度の距離から型枠に対して直角に、均等に充填されるように吹付けた。コアの採取(5φ×10cm)は、JIS A 1107に準拠した。ベ-スコンクリート供試体は、5φ×10cmの型枠に流し込み成型した。

(4) 吹付け機の設定

表5に吹付け機の設定値を示す。

表1 使用材料

使用材料	材料のスペック
ブレックスセメント(NSC)	密度 2.98g/cm ³ N:SF:LF=68.8:3.6:27.6
ミキサ内混合(N+SF+LF)	N:SF:LF=68.8:3.6:27.6
N+LF	密度 3.02g/cm ³ N:LF=72.4:27.6
普通セメント(N)	密度 3.16g/cm ³
細骨材(海砂)	比重 2.55 吸水率 1.71 FM2.20
粗骨材(碎石)	比重 2.73 吸水率 0.80
減水剤	デングレース社製ポリカルボン酸系減水剤
急結材	NMB社製78加水-液状急結材

表2 コンクリートの配合

試料	W/N+SF (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					
			N	W	S	G	SF	LF
N	60.0	62.5	360	216	1035	666	—	—
N+LF			(360)	216	908	666	—	(137)
N+SF+LF			342	216	903	663	18	137
NSC			(342)	216	903	663	(18)	(137)

()で示したものはブレックス

表3 試験項目

スランプ	JIS A 1101
空気量	JIS A 1128
はね返り率	はね返り率の測定(日本トンネル技術協会)
圧縮強度	JIS A 1107, 1108

表4 供試体養生方法

ベ-スコンクリート	養生方法: 20℃ 水中養生 材齢(1.3, 7, 28, 91日)
吹付けコンクリート	養生方法: 20℃, 湿度60% 気中養生 材齢(7, 28, 91日)

表5 吹付け機の設定

スペック	設定値
機種名	ニュークリート高圧圧送吹付けシステム
バール口径	1 inch
吹付け圧	4.6kgf/cm ²
吹付け量	3.5t/h
急結材量	8%*(結合材360kg/m ³ に対して)

*: 急結材の添加量はNMB社の技術資料を参考に8%と設定した。

3. 試験結果および考察

図1に同一スラングを得るための減水剤添加量を示す。同一のスラングを得るための減水剤添加量はNSCとN+LFが一番少なく、Nに比べ0.3%、N+SF+LFと比べ0.1%低減された。NSCおよびN+LFはセメント工場で各材料をブレンクスし、SF、LFがセメント中に最も良く均一分散しているためと思われる。図2にはね返り率試験結果を示す。はね返り率は、NSCが最も少なくNに比べて5%少なかった。フィラーの効果についてみると、LFを添加することで2%、SF、LFを添加することで3%少なくなった。同じフィラーを同量添加してもその分散状態が良いとさらにはね返りが減ることが、NSCとN+SF+LFを比較することで分かった。また、日本鉄道建設公団によると、SFおよびLFの添加により細骨材中の微粉量を調整しコンクリートの粘性を増加させることが、はね返り率の低減に有効なことが確認されており、今回の吹付け試験結果と一致する¹³⁾。

図3に圧縮強度試験結果を示す。ベ-コンクリートにおいて、NにLFのみを添加したものは材齢7日の初期材齢までの強度発現性は高いが、それ以降の強度増進は小さくなる¹³⁾。LFはCaA、CaSの反応を促進する働きがあるため初期強度発現性を高めたものと思われる。NSCは全材齢で最も高い強度を示した。これは、LFによる初期強度増進および、SFのポ-ラン反応による長期強度増進によるものと思われる。NSCとN+SF+LFを比較すると、材齢7日までの圧縮強度は、ほぼ同等であるのに対し、材齢28~91日では、NSCの圧縮強度が高くなった。NSCは工場でブレンクスし、SFをセメント中に均一に分散させているため、SFの凝集が少なく長期にわたり効率よくSFのポ-ラン反応が進行し、強度が増進していると考えられる¹³⁾。

吹付けたコンクリートの圧縮強度についても、NSCが全材齢において最も高い強度を示したが、ベ-コンクリートほどの強度差は見られなかった。これは練り上がったコンクリートを高压で型枠に吹付けているため、コンクリート中に大きな空隙を作る可能性があり、これが吹付けコンクリートの強度を低下させ、各セメント間の強度差を小さくしていると思われる。

4. まとめ

ポ-ランドセメント、シリカフ-ム、石灰石微粉末のブレンクセメントを、ポ-ランドセメント単味、ポ-ランドセメント、石灰石微粉末のブレンクセメント、および各材料をコンクリートミキサ内で混合したものと比較し以下の知見を得た。

- (1) ブレンクセメントを使用することで、ポ-ランドセメントの場合と同一のスラングを得るための減水剤添加量を大幅に減らすことができた。
- (2) シリカフ-ム、石灰石微粉末の添加ははね返り率の低減に有効であり、それらをセメント中にブレンクスすることでより大きな低減効果が認められた。
- (3) ブレンクスすることで、初期強度は主として石灰石微粉末、それ以降の強度は、ポ-ランであるシリカフ-ムにより強度増進した。ポ-ランドセメント、シリカフ-ム及び石灰石微粉末をミキサ内で混合したものと比較しても、ブレンクセメントは高い強度発現性を示した。

参考文献 (1) 日本鉄道建設公団, 高品質吹付けコンクリート設計施工指針(案), [5] 1997

(2) 例えば, JCI, 石灰石微粉末の特性とコンクリートの利用に関するシンポジウム委員会報告書, 6-11 1998

(3) 土木学会, シリカフ-ムを用いたコンクリートの設計・施工指針(案), 1995

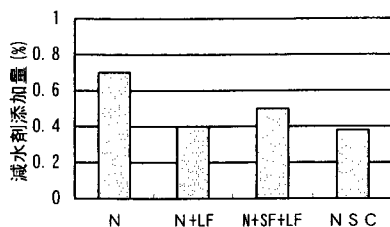


図1 同一スラングを得るための減水剤添加量

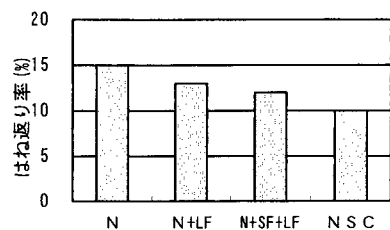


図2 はね返り率試験結果

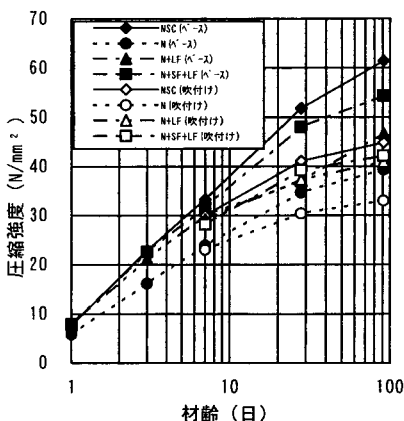


図3 コンクリートの圧縮強度