

報告 湿式粉碎重質炭酸カルシウムスラリーのコンクリート材料への活用検討

佐原晴也*¹・山内 匡*²

要旨: 白色光沢紙の塗工顔料として使われている, 石灰石を湿式粉碎して平均粒径 1.5 μm 程度のスラリー状に精製した重質炭酸カルシウムスラリーについて, コンクリート材料としての活用を実験的に検討した。その結果, これをコンクリートに添加することにより, 高強度コンクリートの粘性が小さくなり, 流動性が改善されることが分かった。最も有効な活用方法としては, 水粉体比 25% 程度, 添加量はセメントの内割 3~5% 程度と判断された。また, 水粉体比 22% 程度の超高強度コンクリートレベルでは, シリカフュームとの併用による有用性も確認された。

キーワード: 重質炭酸カルシウムスラリー, 湿式粉碎, 混和材料, 高強度コンクリート

1. はじめに

高強度コンクリートを得るためには水セメント比を小さくすることが必要になるが, 同時に, 施工面からはフレッシュ時の適切なワーカビリティを確保することが重要となる。その解決方法の一つとして, 従来, セメントに極めて微粉な高炉スラグ微粉末やシリカフュームなどを比較的多量に混合する方法が用いられている。これは, 平均粒径 15 μm 程度のセメントに不足している 2 μm 程度以下の粒子を混合することで粉体全体の充填密度を大きくし, 流動性を向上させようとする考え¹⁾によるものである。

ところで, 石灰石を湿式粉碎して平均粒径 1.5 μm 程度まで微粉細した重質炭酸カルシウムスラリー (以下 FMT と略称) が, 白色光沢紙の塗工用顔料として一般に使われている。著者らは, この FMT を高強度コンクリートに混合することで, 高炉スラグ微粉末やシリカフュームなどと同様な効果が期待できると考えて実験的な検討を行った。以下に, 実験概要, 実験結果および若干の考察を述べる。

2. FMT の物性

FMT の標準物性値を表-1 に, 今回使用した FMT の粒度分布図を図-1 に示す。

上述のように, FMT は紙の塗工用塗料とし

て日常的に製造されている材料であり, 極めて微細な高炉スラグ微粉末や, ほとんどが海外からの輸入品であるシリカフュームに比べて安価に入手できる利点がある。

表-1 FMT の物性値

固形分濃度	$\geq 75\%$
白色度	$\geq 94\%$
粘度 (B型粘度計 60rpm)	≤ 200 cps
PH	10 ± 0.5

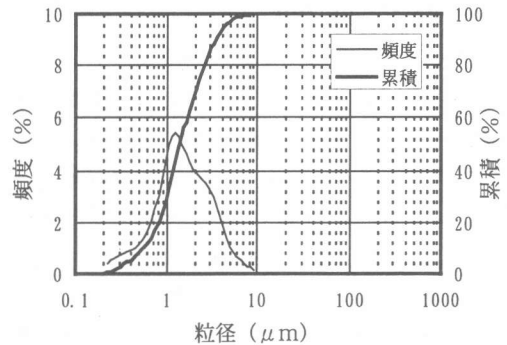


図-1 FMT 粒度分布

* 1 日本国土開発 (株) 技術開発研究所 コンクリート研究室 (正会員)

* 2 日本国土開発 (株) 技術開発研究所 コンクリート研究室

3. 実験概要

3.1 実験計画

表一2に、実験要因と実験水準を示す。

(1) FMTの種類

FMTは、重質炭酸カルシウム粒子をスラリー中で均一に分散させるために適量の分散剤を添加する必要がある。この分散剤の種類によっては、コンクリート製造に際して添加する高性能AE減水剤との間で相性の問題が生じることが考えられる。FMT1は塗工用顔料として通常製造されているものであり、ポリカルボン酸系のある分散剤が添加されている。FMT2、FMT3は分散剤としてコンクリート分野で活用されているポリカルボン酸系の高性能AE減水剤を添加した試作品である。

(2) FMTの添加量

表一2に示すように、FMTはセメントの内割で1、3、5%添加した。FMTの使い方としては、このようなセメント置換の他に、砂と置換する方法（外割）も考えられるが、予備検討では、添加量5%（対セメント）の範囲で両者にフレッシュ性状や圧縮強度などに大きな差が見られなかったことから、材料コストを考慮して、セメントの内割で使用する事とした。

(3) 水粉体比

高強度コンクリートのワーカビリティ改善効果を確認することを目的とし、水粉体比は22%から35%のに4通りとした。

(4) シリカフュームとの併用効果

スラリー中に分散・浮遊している平均粒径1.5 μ m程度の重質炭酸カルシウム粒子は、平均粒径15 μ m程度のセメント粒子と、平均粒径0.2 μ m程度のシリカフューム粒子の中間の大きさの粒子である。このため、セメント、FMT、シリカフュームを混合することにより超微粒子から数10 μ mまでの粒度分布が滑らかになり、水粉体比が25%を下回るような超高強度コンクリートのワーカビ

リティーが、シリカフュームを単独で使用した場合に比べて改善できる可能性がある。そこで、水粉体比22%の条件について、FMTとシリカフュームを併用した場合のワーカビリティ改善効果を検討した。

表一2 実験の要因と水準

実験要因	実験水準
FMTの種類 (分散剤の違い)	FMT1, FMT2 FMT3
FMT添加量(%) (セメント内割)	1, 3, 5
水粉体比(%)	22, 25, 30, 35
シリカフューム との併用効果	0 : 10 3 : 7
FMT(%) : SF(%) (セメント内割)	5 : 5 5 : 0

3.2 使用材料と配合

表一3に使用材料を示す。セメントは、水粉体比35%の実験水準以外は高ビーライト系セメントを用いた。

表一3 使用材料

使用材料	主な性質
セメント (C)	高ビーライトセメント, 比重: 3.20 普通ポルトランドセメント, 比重: 3.15
細骨材 (S)	市原産細砂 30%, 比重: 2.54 相模川産粗目砂 70%, 比重: 2.55
粗骨材 (G)	津久井群城山産 2005 砕石, 比重: 2.66
高性AE 減水剤 (SP)	ポリカルボン酸系
混和材	重質炭酸カルシウムスラリー (FMT)スラリー比重: 1.91 固形分比重: 2.70 シリカフューム (SF) 比重: 2.20

表一4にコンクリート配合を示す。目標空気量はいずれの配合も3.0 \pm 1.0%とした。目標スランブフローは水粉体比35%で55

±5.0 cm, 30%で60±5.0 cm, 25%と22%では65±5.0 cmとし, スランプフローの調整は高性能AE減水剤によって行った。コンクリートの練混ぜには, 容量55リットルのパン型強制ミキサーを使用し, 1バッチの練り量は30リットルとした。練混ぜ方法は空練り30秒, 本練りを水粉体比22%で210秒, 25%で180秒, 30%と35%で120秒とした。

3.3 試験項目

フレッシュ性状の試験は土木学会の高流動コンクリート指針作成小委員会の「高流動コンクリートの試験方法(土木学会規準(案))²⁾」に準拠して, スランプフロー試験, 空気量試験, L型フロー試験を行った。スランプフロー試験ではスランプフロー値(cm)を, Lフロー試験では30, 40, 50 cmフロータイムを測定してコンクリートの流動速度(mm/s)を求めた。また, 硬化コンクリートについては材齢7日, 28日(一部の条件のみ91日)の圧縮強度を測定した。

表-4 コンクリートの配合

W/P* (%)	FMT又は SFの添加量 (セメント内割%)	単位量 (kg/m ³)						SP (P×%)
		W	C	FMT**	SF	S	G	
35	—	170	486	0	0	777	907	0.95~ 1.20
	1%		481	4.9		777	907	
	3%		471	14.6		776	907	
	5%		462	24.3		774	907	
30	—	165	550	0	0	744	907	0.90~ 1.20
	1%		545	5.5		743	907	
	3%		534	16.5		742	907	
	5%		523	27.5		743	907	
25	—	160	640	0	0	685	907	1.40~ 1.80
	1%		634	6.4		685	907	
	3%		621	19.2		685	907	
	5%		608	32.0		685	907	
22	—	155	705	0	0	648	907	1.60
	0% : 10%		635	0	70.5	621	907	2.00
	3% : 7%		635	21.2	49.4	621	907	2.00
	5% : 5%		635	35.3	35.3	628	907	2.00
	5% : 0%		670	35.3	0	641	907	2.00

* W/P : 水粉体比, P = C + FMT 又は SF

** 配合量は固形分量で表示

4. 実験結果および考察

4.1 FMT添加による流動性の変化とFMTの分散剤の違いによる影響

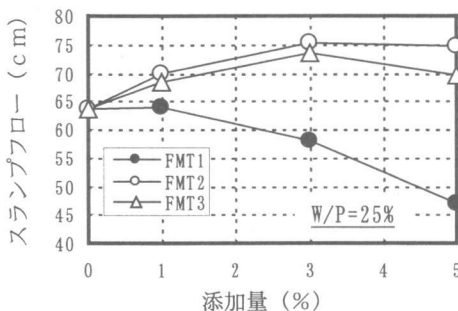
実験は, FMT無添加のベースコンクリートと高性能AE減水剤量を同じにした場合と, 高性能AE減水剤量を変化させてスランプフローを同程度にした場合の2通りの方法で行った。水粉体比は25%, FMTは表-2に

示した3種類, 添加量は1, 3, 5%に変化させた。

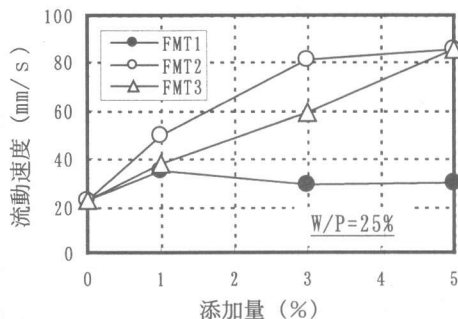
高性能AE減水剤の添加量をベースコンクリートと同一とした場合の, FMT添加量とスランプフローの関係を図-2に, FMT添加量と30 cm Lフローの流動速度の関係を図-3に示す。

図-2から, FMT1を添加した場合には,

添加量の増加に伴ってスランプフローが小さくなっていることが分かる。前述したように、FMT 1にはコンクリート分野では一般に使用されていない分散剤が添加されており、これとポリカルボン酸系の高性能A E減水剤の相性の影響と思われる。これに対して、FMT 2、FMT 3を添加した場合には、ベースコンクリートに比べてスランプフローは大きくなることが分かる。また、図一3から、FMT 2、FMT 3を添加した場合には、30 cmLフローの流動速度が速くなっていることが分かる。これは、スランプフローが増大した効果もあるが、スランプフローが減少したFMT 1の結果でも同等以上の流動速度を有していることから考えると、FMTの添加によって高強度コンクリートの粘性が小さくなって、流動性が向上した効果も示されていると考えられる。



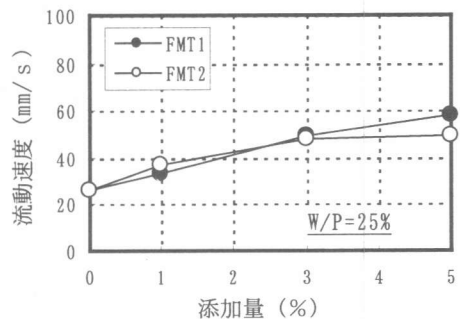
図一2 FMT添加量とスランプフローの関係



図一3 SP添加量を固定した場合のFMT添加量と流動速度の関係

このことを確認するために、高性能A E減水剤の添加量を変化させてスランプフローを同程度にした場合について、FMT添加量と30 cmLフローの流動速度の関係を検討した結果を図一4に示す。

FMTの添加量の増加とともに流動速度は速まり、上述したような粘性の低下、流動性の向上の効果がみられる。また、図一4からFMT 1を添加した場合でも、高性能A E減水剤を増量(FMT 1の添加量1, 3, 5%に対してそれぞれ0, 0.1, 0.4%増量)してスランプフローを合わせれば、FMT 2と同等の性状改善効果が得られることが分かる。一方、FMT 2を添加した場合には、無添加の場合と同程度のスランプフローを得るための高性能A E減水剤量を0.05~0.1%減少することができた。



図一4 スランプフローを同程度とした場合のFMT添加量と流動速度の関係

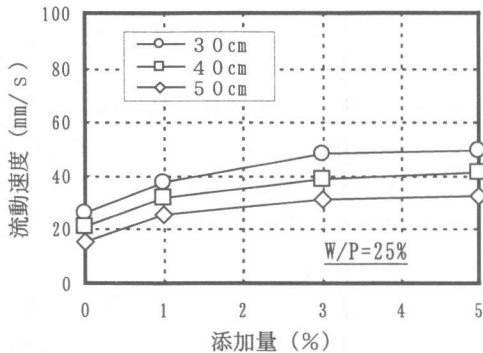
4.2 FMTの適切な添加量の検討

実験は水粉体比25%について行い、添加量は1, 3, 5%に変化させた。FMTの種類としてはFMT 2を使用し、高性能A E減水剤量を変化させてスランプフローを同程度にして評価を行った。

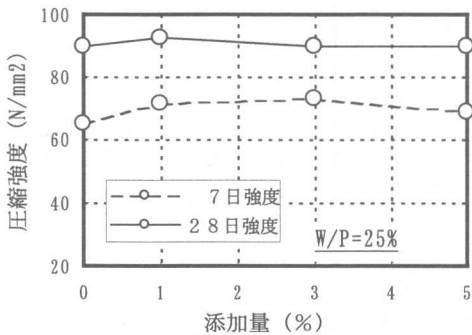
FMT添加量と30 cm, 40 cm, 50 cmLフローの流動速度の関係を図一5に、FMT添加量と圧縮強度の関係を図一6に示す。

FMTの添加量1%の場合に比べて、添加量3%, 5%の場合の方が各Lフローとも流動速度が速く、スコップで練り返した際の取

り扱った感覚でも3%, 5%の状態の方が良く感じられた。しかし、添加量3%, 5%の間では大差がなかった。また、材齢7日および28日の圧縮強度は、FMTの添加量0~5%の範囲では同程度であった。これらのことから、材料コスト等を考えると添加量3%程度が最も適切と判断された。



図一五 FMT添加量と流動速度の関係 (適切な添加量の検討)



図一六 FMT添加量と圧縮強度の関係

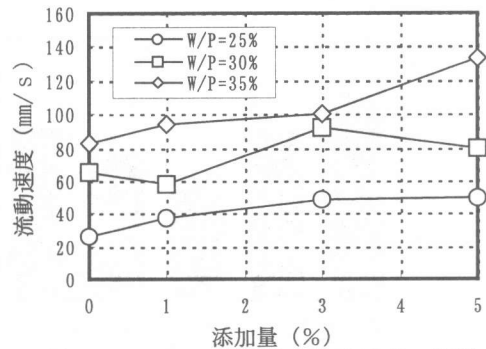
4.3 水粉体比とFMT添加の効果

実験は水粉体比25%, 30%, 35%について行い、添加量を1, 3, 5%に変化させた。FMTの種類としてはFMT2を使用し、高性能AE減水剤量を変化させてスランプフローを同程度にして評価を行った。

各水粉体比ごとのFMT添加量と30cmLフローの流動速度の関係を図一7に示す。

水粉体比30%, 35%の場合もFMT添加によって30cmLフローの流動速度は速くなる傾向にあり、流動性善効果は認められた。

しかし、FMT無添加の条件での流動性がそれほど悪くないため(25%の場合ほどに粘性が大きくないため)、FMT添加による改善効果が試験値的にも、取り扱った感じでも、水粉体比25%の場合ほどには明確に得られなかった。



図一七 FMT添加量と流動速度の関係 (効果的な水粉体比の検討)

4.4 シリカフュームとの併用効果の検討

実験は水粉体比22%についてFMT1を使用して行い、FMT1とシリカフュームのセメントに対する内割比(%)を0:10, 3:7, 5:5, 5:0の4通りに変化させた。高性能AE減水剤量は混和材無添加の条件ではC×1.6%, その他はP×2.0%とした。

混和材の内割比とスランプフローの関係を図一8に、30cmLフローの流動速度の関係を図一9に示す。また、混和材の内割比と圧縮強度の関係を図一10に示す。

図一8に示すように、シリカフューム単味に比べて、FMTを混入するとスランプフローは若干低下する傾向がみられた。しかし、図一9に示すように、シリカフュームやFMTの添加で30cmLフローの流動速度は大きく改善され、シリカフュームとFMTの併用では、シリカフューム単味と比較して同等以上の流動性が得られることが分かった。また、図一10に示すように、材齢91日時点では、FMT混入による強度低下はみられない。し

たがって、シリカフェームの一部をFMTで置換してもワーカビリティ、強度ともに問題がないと言える。一方、FMTのみでの改善効果については、効果は認められるものの十分とは言い難い状態であり、水粉体比22%レベルではシリカフェームとの併用が良いと判断された。

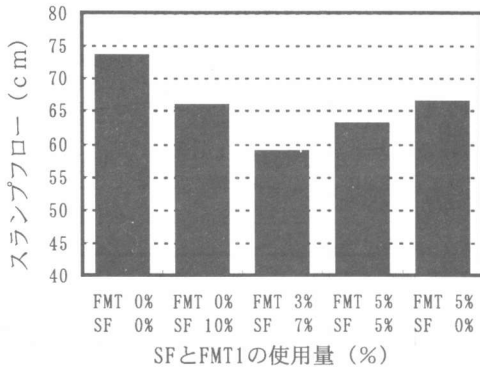


図-8 FMTとSF併用時のスランプフロー

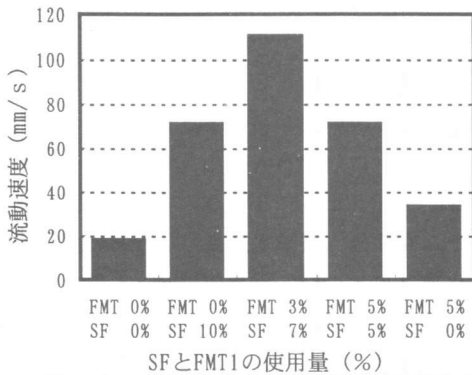


図-9 FMTとSF併用時の流動速度

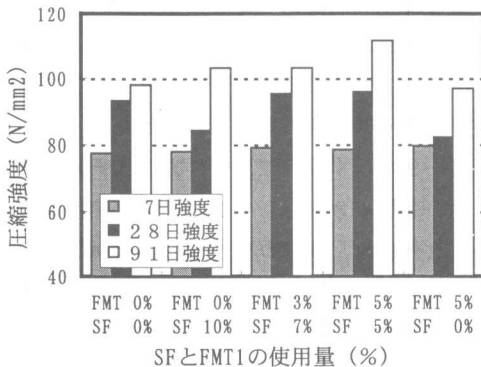


図-10 FMTとSF併用時の圧縮強度

4. まとめ

白色光沢紙の塗工顔料として使われている、石灰石を湿式粉碎した重質炭酸カルシウムスラリー（FMT）を、コンクリート材料として活用することを目的とした本実験の結果をまとめると、以下のとおりである。

- (1) FMTを添加することによって、高強度（低水セメント比）コンクリートの粘性が小さくなり、流動性を向上させることができる。
- (2) FMTの添加量は本実験の範囲では、セメントの内割3～5%程度が適正範囲であるが、材料コスト等を考えると添加量3%程度が最も適切と判断される。
- (3) 水粉体比30%や35%の高強度コンクリートに比べて、25%の方がFMT添加による流動性改善効果が大きい。
- (4) 水粉体比22%の超高強度コンクリートレベルで、シリカフェームの一部をより安価なFMTと置換しても、シリカフェーム単味と比較して同等のワーカビリティと強度が得られる。

参考文献

- 1) (財) 国土開発技術研究所センター：建設省総合技術開発プロジェクト 鉄筋コンクリート造建築物の超軽量・超高層化技術の開発 平成4年度 高強度コンクリート分科会報告書, 1992. 3
- 2) (社) 土木学会：高流動コンクリート施工指針, pp. 157-176, 1998. 7