

クリンカーフリーモルタルにおける
各種アルカリ刺激材の検討と流動特性に関する研究

宇都宮大学 ○ 学生会員 岩田 正幸
宇都宮大学大学院 正会員 藤原 浩巳
宇都宮大学大学院 正会員 丸岡 正知
日本シーカ株式会社 正会員 齋藤 賢

1. はじめに

現在、地球温暖化の要因が温室効果ガスの排出による可能性が非常に高まっており、社会的な取り組みとしてCO₂排出量の削減が求められている。そこで、本研究は、製造時に多量のCO₂を排出するセメントを使用せず、フライアッシュおよび高炉スラグ微粉末を主材料とし、圧縮強度 60N/mm² 以上の高強度コンクリートの開発を目的としている。本研究では品質の異なる3種類の消石灰と、産業廃棄物の有効利用の観点から、生コンスラッジを乾燥・粉砕した乾燥スラッジ粉をアルカリ刺激材として使用した際の諸性状について検討した。また、モルタルのフレッシュ性状においてダイラタンシー性状を示す配合があった。これを貫入抵抗値を用いて評価し、シリカフェウムおよび高粉末度の高炉スラグ微粉末を使用して性状の改善を行った。

2. 実験概要

2.1 使用材料

本研究の使用材料を表1に示す。主材料として産業副産物でポゾラン物質であるフライアッシュおよび潜在水硬性を有する高炉スラグ微粉末を使用した。また、自己収縮抑制、初期強度発現の目的で無水石膏を使用した。アルカリ刺激材として、多孔性高比表面積消石灰および、特号消石灰、一号消石灰の3種類の消石灰を使用した。各消石灰の物性値を表2に示す。また、生コンスラッジは、生コン工場にて脱水直後のスラッジケーキを採取し、200℃にて3日間炉乾燥させた後、粉砕機を用いて粉末とした乾燥スラッジ粉を使用した。

2.2 実験条件

本研究で発現したダイラタンシーとは、流体のレオロジー的性質の一つであり、流体の粘性が、せん断速度の増加とともに拡大する現象である。図1に各種流体のレオロジー特性に関する概念図を示す¹⁾。本研究では、アルカリ刺激材の混合割合を10%一定とし、フライアッシュの混合割合を20、40%と変化させた。また、基本となる配合をNシリーズとした。ダイラタンシー性状改善のため、シリカフェウムを5%混合した配合をSFシリーズ、高炉スラグ微粉末を低粉末度品から高粉末度品に全量置換した配合をBS12シリーズとした。これは既往の研究より²⁾、微粉末を混和するとチクソトロピー性が付与できるとされており、ダイラタンシーとの相殺を狙った。本研究の配合条件を表2、粉体構成を表3に示す。本研究におけるSP添加率は、練混ぜ時間の増大、ダイラタンシー性状の発現により、モルタルフロー値の調整が困難なため、ある程度の流動性が得られ、材料分離を起こさない範囲で調整した。また、消泡剤を用いて空気量を調整した。

2.3 実験項目

(1) フレッシュ性状試験

モルタルフロー試験はJIS R 5201に、空気量試験はJIS A 1116に準拠した。貫入抵抗値試験はJIS A 1147に示される試験装置を使用して行った。練混ぜ直後に型枠に詰めたモルタルの上面を十分に均し、約1秒間で断面積1cm²の貫入針を

表1 使用材料

材料	記号	材料名	密度 (g/cm ³)
結合材	SF	シリカフェウム	2.24
	FA	フライアッシュJISIV種(ブレン比表面積1990cm ² /g)	2.20
	BS4	高炉スラグ微粉末(ブレン比表面積4400cm ² /g)	2.90
	BS12	高炉スラグ微粉末(ブレン比表面積12210cm ² /g)	2.91
	AG	無水セッコウ	2.90
	TK	多孔性高比表面積消石灰	2.24
	CHs	特号消石灰	2.24
	CH1	一号消石灰	2.24
	SD	乾燥スラッジ粉(平均粒径18.3μm)	2.43
水	W	上水道水	1.00
細骨材	S	鬼怒川産川砂	2.58
減水剤	SP	ポリカルボン酸エーテル系高性能減水剤	1.08
消泡剤	DF	ポリアルキレングリコール誘導体	1.00

表2 各消石灰の物性値

品質		多孔性高比表面積消石灰	特号消石灰	一号消石灰
BET比表面積	cm ² /g	430000	150000	120000
平均粒径	μm	6.0	9.4	12.0
酸化カルシウム	CaO	73.1	72.5%以上	70.0%以上

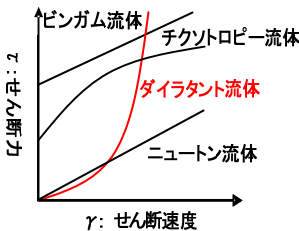


図1 流体のレオロジー特性に関する概念図

表3 配合条件

水セメント比 (%)	砂セメント比 (%)	目標空気量 (%)
20.0	32	2.0±1

表4 粉体構成

シリーズ名	配合名	質量比 (%)									
		SF	FA	BS4	BS12	AG	TK	CHs	CH1	SD	
Nシリーズ	N1	0	40	40	0	10	10	0	0	0	0
	N2						0	10	0	0	0
	N3						0	0	10	0	0
	N4						0	0	0	0	10
	N5						10	0	0	0	0
	N6						0	10	0	0	0
	N7						0	0	10	0	0
	N8						0	0	0	10	0
SFシリーズ	SF1	5	40	35	10	0	10	0	0	0	0
	SF2						0	10	0	0	0
	SF3						0	0	0	10	0
	SF4						10	0	0	0	0
	SF5						0	10	0	0	0
	SF6						0	0	0	10	0
BS12シリーズ	BS12-1	0	40	0	40	10	10	0	0	0	0
	BS12-2						0	10	0	0	0
	BS12-3						0	0	0	10	0
	BS12-4						10	0	0	0	0
	BS12-5						0	10	0	0	0
	BS12-6						0	0	0	10	0

キーワード セメント無混和 フライアッシュ 高炉スラグ微粉末 消石灰 生コンスラッジ

連絡先 〒321-8585 栃木県宇都宮市陽東 7-1-2 宇都宮大学工学部 TEL 028-689-6211

25mm 貫入させ、測定された抵抗値によりダイラタンシー性を定量的に判断した。ダイラタンシー現象はせん断速度の速い力によって、見かけの粘性が増加する状態であり、予備実験において 25mm/sec・cm² で貫入するとダイラタンシー性を抵抗値として測定できることが確認されたものである。

(2) 圧縮強度試験

JSCE-G 505 に準拠した。測定は、脱型直後 1 日、20℃水中養生 3、7 日、60℃温水養生 7 日とした。ここで、60℃温水養生とは促進養生条件で、混和材の水和反応を促進し、早期にポテンシャル強度を引き出すための条件である。

3. 実験結果及び考察

(1) フレッシュ性状

N シリーズ、SF シリーズ、BS12 シリーズそれぞれのモルタルフロー値と貫入抵抗値の関係を図 2、3、4 に示す。N シリーズでは、乾燥スラッジ粉を用いた配合において、モルタルフロー値が 300mm と流動性が高い条件において、貫入抵抗値が測定された。その値は、フライアッシュ 40% 混合(配合 N4)において 1.8N/mm² であり、フライアッシュ 20% 混合(配合 N8)において 1.6N/mm² であった。また、特号消石灰を混合した配合では、フライアッシュ 40% 混合(配合 N2)において、0.2N/mm² の貫入抵抗値が測定された。このことから、乾燥スラッジ粉を混和した場合にダイラタンシー性状が発現する傾向にあると思われる。SF シリーズでは、乾燥スラッジ粉を使用しフライアッシュを 40% 混合した配合 (SF3) のみ、0.8N/mm² の貫入抵抗値が測定された。しかしながら、N シリーズで測定された値と比べ、貫入抵抗値が減少しており、シリカフュームを混和することでダイラタンシー性状を改善できると考えられる。これは前述のように、シリカフュームを混合するとチクソトロピー性が付与される²⁾ ことから、ダイラタンシー性状が相殺されたためと考えられる。BS12 シリーズでは、全般的にモルタルフロー値は小さくなる傾向にあり、また乾燥スラッジ粉を使用した配合は他のシリーズと異なり、小さいモルタルフロー値で貫入抵抗値が上昇している。これは、高粉末度の高炉スラグ微粉末を低粉末

度品に全量置換したため、全体系としての粒度分布が変化したためと思われるが、今後の検討が必要である。

(2) 圧縮強度

各シリーズの圧縮強度試験結果を図 5、6、7 に示す。

各シリーズに共通して、フライアッシュ 40% 混合の配合における初期強度が低い。これはポゾラン物質であるフライアッシュは材齢初期の強度発現にあまり寄与しないためと考えられる³⁾。SF シリーズでは、60℃温水養生 7 日において 100N/mm² 以上の圧縮強度が得られた。これはシリカフュームが超微細な粒子であり、モルタル硬化体を密実にしたためであると考えられる。BS12 シリーズではどの材齢においても、他のシリーズと比べ圧縮強度が大きく、60℃温水養生 7 日において 120N/mm² 以上の圧縮強度が得られた配合もあった。これは、高炉スラグ微粉末は高粉末度になるほど反応性に優れているため⁴⁾ と考えられる。

4. まとめ

本研究の結果から、クリンカーフリーモルタルにおいて貫入抵抗値によるダイラタンシー性状の定量的判断が可能であることが示された。また、フレッシュ性状はシリカフュームを 5% 混合することで改善されることが分かった。また、高粉末度の高炉スラグ微粉末では圧縮強度は増加するが、ダイラタンシー性状の改善効果は小さいと思われる。

参考文献

- 1) 中江利昭 監修 レオロジー工学とその応用技術：株式会社フジ・テクノシステム、p.100, 2001
- 2) 加藤教弘：高チクソトロピー性を有する注入グラウト材の開発、宇都宮大学大学院修士論文、2009
- 3) 河見真、水口裕之、上田隆雄、橋本親典：多量にフライアッシュを用いた高流動コンクリート用モルタルの硬化促進に関する一検討、コンクリート工学年次論文集、vol21, No.2, pp433-438, 1999
- 4) 遠藤裕悦、児玉和巳、高田誠：高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの長期強度に関する実験的研究、コンクリート工学年次論文集、Vol.11, No.1, pp.361-366, 1989

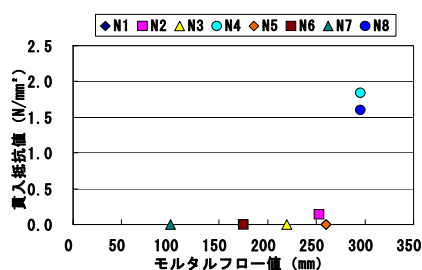


図2 Nシリーズのモルタルフロー値と貫入抵抗値

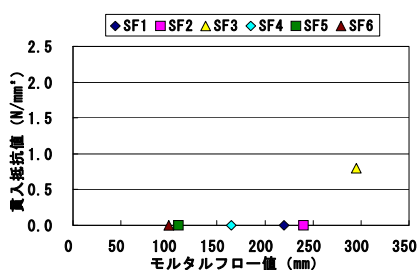


図3 SFシリーズのモルタルフロー値と貫入抵抗値

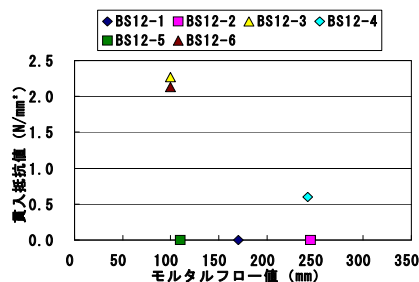


図4 BS12シリーズのモルタルフロー値と貫入抵抗値

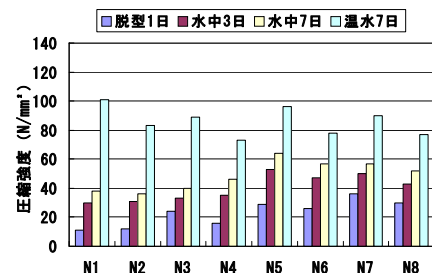


図5 Nシリーズの圧縮強度

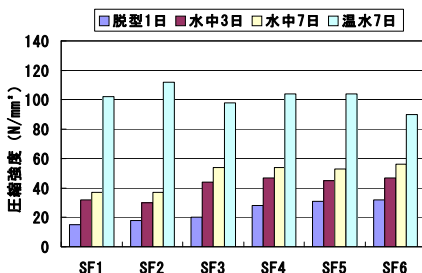


図6 SFシリーズの圧縮強度

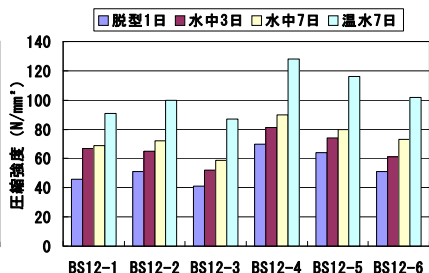


図7 BS12シリーズの圧縮強度