

論文

[1044] フライアッシュ起源溶融物微粉末のコンクリートへの適用性に関する研究

溝田龍彦 (島原生協組)

正会員 岡沢 智 (エヌエムビー)

光畑英哉 (三菱重工業)

正会員 寺本尚夫 (三菱重工業)

1. はじめに

従来よりフライアッシュや高炉水砕スラグ微粉末などを混和材としてコンクリートに適用しているが、近年コンクリートの高性能化の要求にともなって混和材の使用量や種類の多様化が進んでいる。その中でも主に高強度コンクリートでは従来の混和材に加えてシリカフェームなどの新しい混和材の適用性の検討が非常に盛んである。これら新しい混和材は化学的活性が高いこと、粒子径が従来より非常に小さいことなどを特徴としており、高い反応性や充填効果などにより高強度が発現するといわれている。

筆者らも同様な考えに基づきフライアッシュを原料とした超微粉末 (ネオフューム) の高強度コンクリートへの適用性を検討<sup>1) - 3)</sup> してきた。この超微粉末はフライアッシュを超高温場で蒸発・気化させ、それを凝結させて捕集することにより得られるが、このときに溶融物が副生される。この溶融物は超微粉末と同様高温処理がなされているため高い化学的活性が期待され、コンクリート混和材としての適用が期待される。

本報はこのフライアッシュを起源とする溶融物微粉末の常用コンクリートへの適用性を検討したものである。

2. フライアッシュ起源溶融物微粉末の物性

フライアッシュ起源溶融物の製造概念図を図1に示す。フライアッシュを超高温燃焼炉に投入してSiO<sub>2</sub>の沸点以上の超高温にして超微粉末を製造する際、燃焼炉底から溶融物が副生する。この溶融物も同様の温度履歴を受け、急冷後微粉砕機で所定の粒度に粉砕される。このようにして製造される溶融物微粉末は原料のフライアッシュ性状や超微粉末製造条件によって性能が異なる。ここではコンクリート実験に使用した代表的サンプルの物性について以下に示す。

(1) 組成

成分組成分析はプラズマ発光分析法によって行った。分析結果を表1に示す。

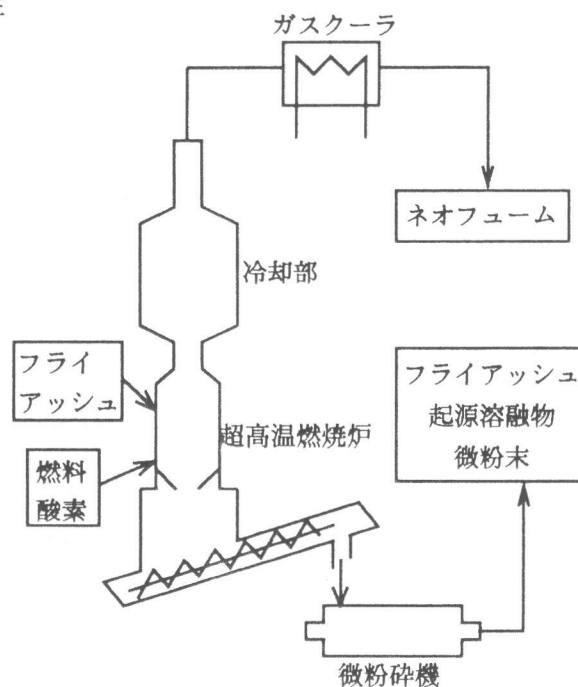


図1 製造装置の概要

表1 フライアッシュ起源溶融物微粉末の分析値

50%平均粒径	真比重	未燃分	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO
2.5 μm	2.56	0.03%	60.3%	29.3%	2.9%	2.0%	0.9%

溶融物はネオフューム製造時に副生されるため、組成は原料フライアッシュおよびネオフュームの組成に依存する。ネオフュームはフライアッシュ中のSiO<sub>2</sub>を気化・捕集するため、原料のフライアッシュよりSiO<sub>2</sub>濃度が高くなる。一方溶融物はSiO<sub>2</sub>濃度が若干低下する傾向にある。

(2) 粒度

図2はレーザー回折法による粒度分布測定装置（測定レンジ0.1～50 μm）を使用して測定した結果であり、平均粒径は2.5 μm になっている。

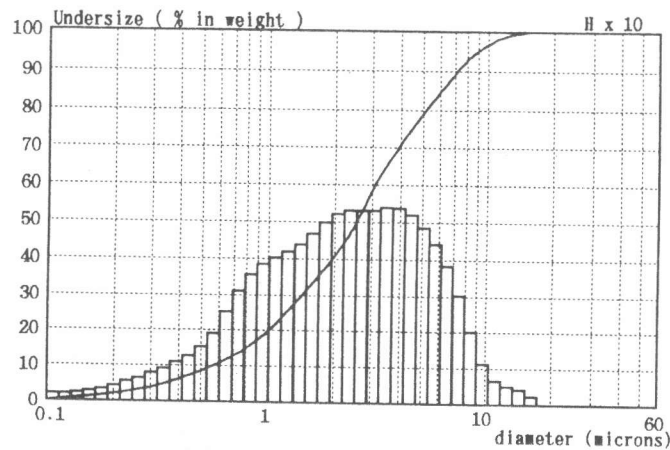


図2 粒度分布測定結果

(3) 結晶特性

図3に溶融物微粉末及び原料フライアッシュのX線回折試験結果を示す。フライアッシュは回折線に明瞭なピークが現れており、結晶質物質が存在していることが認められる。これに対し溶融物微粉末では回折線に鋭いピークはなく、非晶質であることが認められた。

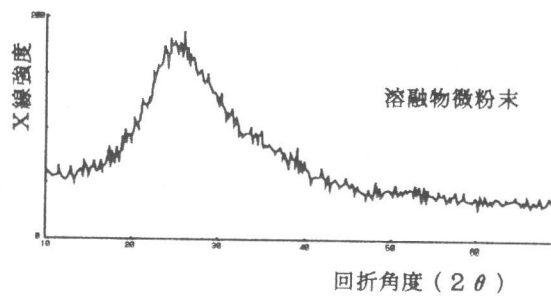
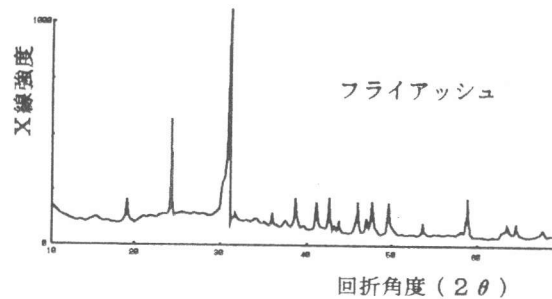


図3 X線回折試験結果

3. コンクリート実験概要

3. 1 使用材料

本実験で使用した材料を表2に示す。

表2 使用材料

材 料	備 考	
セメント	普通ポルトランドセメント 3銘柄等量混合 比重3.16	
細骨材	大井川水系陸砂と千葉県産山砂を8:2に混合 比重2.62 FM2.59	
粗骨材	青梅産硬質砂岩碎石 MS20mm 比重2.64 FM6.35	
高性能AE減水剤	ポリカルボン酸エーテル系の化合物	
混 和 材	溶融物微粉末	比重2.56 平均粒径2.5 $\mu$ m SiO <sub>2</sub> 60.3%含有
	ネオフューム	比重2.53 比表面積59.2m <sup>2</sup> /g SiO <sub>2</sub> 69.7%含有
	混合8/2	溶融物微粉末/ネオフューム=8/2 重量比混合
	フライアッシュ 微粉末	比重2.57 平均粒径3.1 $\mu$ m SiO <sub>2</sub> 56.6%含有

### 3.2 フレッシュコンクリート性能試験

溶融物微粉末及び各種混和材がフレッシュコンクリートの流動性及びブリージングに与える影響について検討を行った。

水結合材比は60%、混和材の置換率は結合材重量内割で10%一定とした。目標スランプは18cmとし、混和材無添加の基準配合に対し、単位水量及び高性能AE減水剤量を調整して比較試験を行った。

### 3.3 硬化コンクリートの強度試験

上記フレッシュコンクリート試験に用いたコンクリートで圧縮強度試験を実施した。

### 3.3 透水試験

コンクリートの耐久性評価の指針である硬化コンクリートの透水試験を行った。水結合材比は60%、混和材の添加率は結合材重量外割で10%とした。供試体は $\phi$ 15 $\times$ 30cmの円柱供試体とし、外部から10kgf/cm<sup>2</sup>の水圧を24時間かけ、水の浸透深さを求めてコンクリート中の水の拡散係数を算定した。

## 4. 実験結果及び考察

### 4.1 フレッシュコンクリート試験結果

フレッシュコンクリートの試験結果を表3に示す。ベースコンクリート（混和材無添加）の配合を単位水量177kg/m<sup>3</sup>、高性能AE減水剤を結合材重量の1%として比較試験を行ったところ、溶融物微粉末の添加により流動性は若干向上する傾向になった。これに対し、超微粉末のネオフュームは流動性が低下するため、高性能AE減水剤量が約3倍となっている。また、溶融物微粉末とネオフュームを重量比で8/2の割合で混合したものは、若干流動性が低下し減水剤量が1~2割増大している。一方フライアッシュ微粉末は溶融物微粉末とほぼ同様の流動性を示している。フライアッシュなどの混和材を添加した場合に流動性が改善されるのは、球形の粒子が多いことによるボールベアリング的効果やセメント粒子間を混和材で充填するフィラー効果によるためとされているが、溶融物微粉末は機械的に粉碎していることから主にフィラー効果によ

表3 コンクリート試験結果(その1 内割添加)

混和材種類	W	C	混和材 (kg/m <sup>3</sup> )	高性能AE 減水剤 (C×wt%)	スランプ (cm)	ブリー ジング 率	圧縮強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )		
	(kg/m <sup>3</sup> )						7日	28日	91日
ベースコンクリート	177	295	0	1.0	17.5	5.44%	204	312	384
溶融物微粉末	177	266	29	1.0	18.6	3.75%	191	323	434
混合8/2	177	266	29	1.0	15.5	—	—	—	—
混合8/2	180	270	30	1.0	18.5	—	—	—	—
混合8/2	177	266	29	1.2	18.4	2.85%	204	331	444
ネオフューム	177	266	29	2.9	18.0	—	223	357	451
フライアッシュ微粉	177	266	29	1.0	19.3	—	—	—	—
フライアッシュ微粉	177	266	29	0.8	17.7	4.02%	196	309	390

混合8/2は溶融物微粉末/ネオフュームを重量比で8/2に混合したもの。

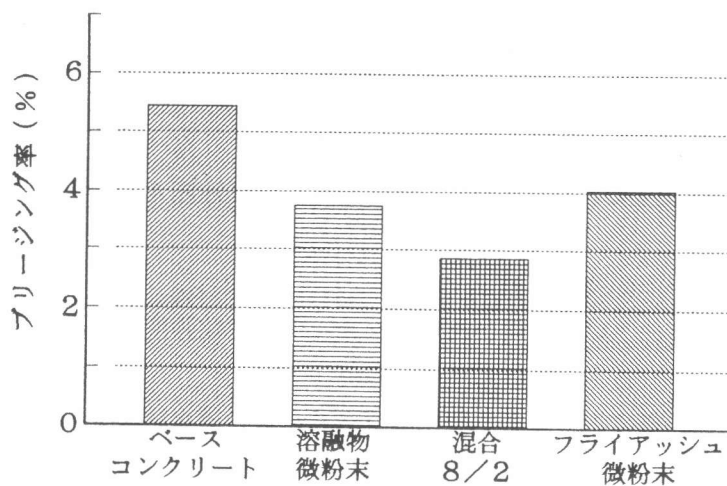


図4 ブリージング試験結果

て流動性が確保されているものと考えられる。

図4にブリージング試験の結果を示す。各混和材ともベースコンクリートに対してブリージングが減少しており、粉砕フライアッシュ微粉末とスラグ微粉末で同程度、ネオフュームを混合したものがより小さくなり、微粒分添加によるブリージング抑制効果が顕著に現れた。

#### 4.2 圧縮強度

圧縮強度試験結果を図5に示す。溶融物微粉末は材令7日においてはベースコンクリートとほぼ同じであるが、材令が進むにつれて強度が増大し、材令91日では50 kgf/cm<sup>2</sup>強度増加している。ネオフュームを混合または単独で使用した場合には、初期材令において若干強度が増大する傾向はあるが、あまり顕著な差は認められなかった。一方フライアッシュ微粉末はベースコンクリートとほぼ同等の強度発現性を示した。

フライアッシュ微粉末と溶融物微粉末は、フレッシュコンクリート試験の結果から物理的には

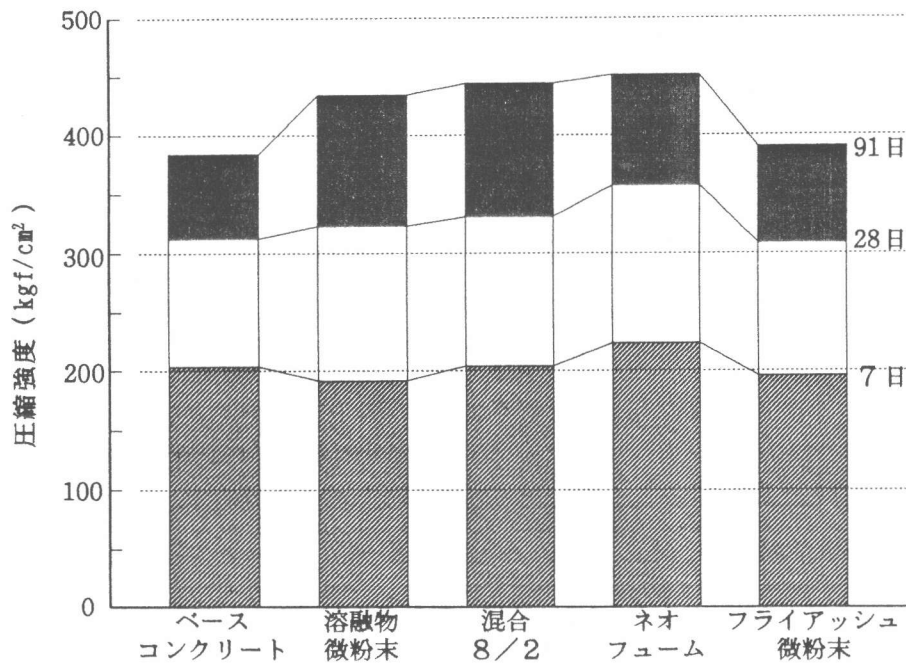


図5 圧縮強度試験結果

ほぼ同等の性能を有しており、組成に関してもさほど大きな差がないといえる。それにもかかわらず両者の強度発現性に差が現れたのは溶融物微粉末が非晶質であり、化学的活性が高く、水和反応性が高かったためと考えられる。一方超微粒子であるネオフュームを添加しても顕著な差が認められなかったのは、水結合材比が60%と大きいので、セメント粒子間の空隙が大きくなり空隙充填効果にミクロンオーダーとサブミクロンオーダーでの差が現れなかったためと考えられる。

#### 4.3 透水試験

透水試験結果を表4及び図6に示す。ここでは対比材料として結晶度の高い珪石を溶融物微粉末と同じ粒度に粉砕したものをを用いた。珪石微粉末でも水密性が向上しており、セメント粒子間空隙の充填効果によるためと考えられる。溶融物微粉末の水密性がさらに高いのは、非晶質であるため水和反応が活発であり、水和反応生成物によって空隙が充填されたためと考えられる。ネオフュームを混合することによってさらに水密性が高くなる傾向にあるが、混合とネオフューム

表4 コンクリート試験結果(その2 外割添加)

混和材種類	W	C	混和材	高性能AE減水剤 (C×wt%)	スランブ (cm)	拡散係数 (cm²/sec)	圧縮強度 (kgf/cm²)		
	(kg/m³)						7日	28日	91日
ベースコンクリート	177	295	0	1.0	17.5	0.00186	204	312	384
溶融物微粉末	177	295	29	1.0	19.0	0.00094	242	386	487
混合8/2	177	295	29	1.1	18.0	0.00071	253	384	495
ネオフューム	177	295	29	2.7	18.8	0.00079	280	424	526
珪石微粉末	177	295	29	1.0	18.5	0.00118	240	367	427

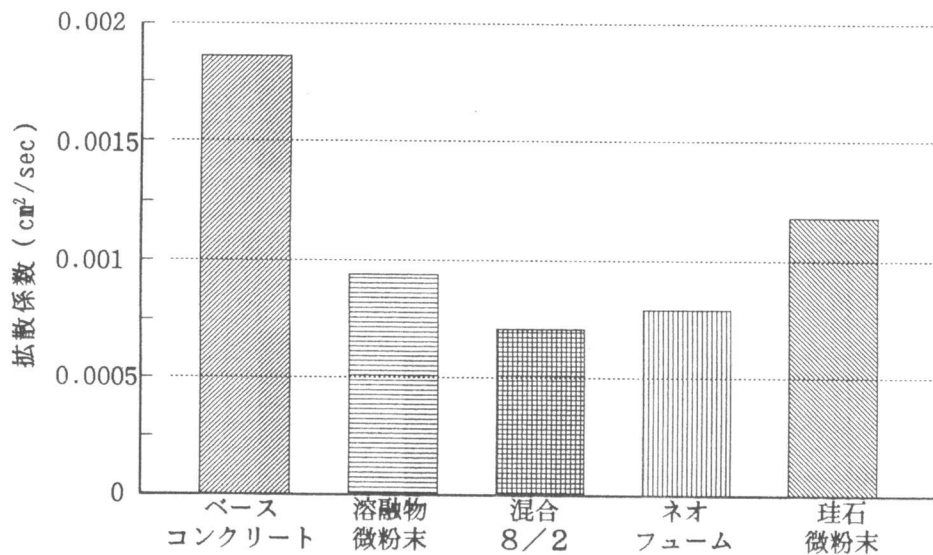


図6 透水試験結果

単独ではあまり差が認められない。これは前述の強度発現性と同様に、空隙の最密充填効果に粒径の差があまり影響しないためと考えられる。

#### 5. まとめ

本研究の結果を要約すれば以下ようになる。

- 1) フライアッシュ起源溶融物微粉末は非晶質であるため化学的活性が高く、強度増進効果のある混和材であることが認められた。
- 2) フライアッシュ起源溶融物微粉末はセメント粒子間の空隙の充填効果及び高い水和反応性によってコンクリートの水密性向上にも効果が認められた。
- 3) フレッシュコンクリートの性能は主に粒子径によってその性能が支配される傾向にあり、平均粒径 $2.5\ \mu\text{m}$ 程度の微粉末の添加は流動性に対して悪影響を及ぼさない。

以上のことから、フライアッシュ起源溶融物微粉末は常用コンクリートの強度増進や耐久性向上に効果のある混和材として適用可能な目処が得られた。溶融物微粉末は原料や製造条件によって化学組成や粒度などの性情の調整が可能であり、今後、凍害や中性化に対する耐久性など種々の目的に応じた混和材物性の検討を行う予定としている。

#### 参考文献

- 1) 松藤泰典・大川 裕・岡沢 智・光畑英哉：フライアッシュ起源微粉末を混入したコンクリートの強度性状に関する研究，日本建築学会関東支部研究報告集・構造系，pp.153-156，1991.1
- 2) 松藤泰典・大川 裕・岡沢 智・光畑英哉：フライアッシュ起源活性微粉末を混入したコンクリートの基本物性，日本建築学会1991年度大会（東北）学術講演梗概集・材料，1991.9
- 3) 松藤泰典・大久保孝昭・原田志津男・光畑英哉・寺本尚夫：フライアッシュ起源活性超微粉末を用いた高強度コンクリートに関する研究，九州大学工学集報，第64巻 第5号，pp.453-461，1991.10