

論文

[1054] 粉殻灰を混和したモルタルの基礎性状

原田耕司^{*1}・大矢一夫^{*2}・松井健一^{*3}

1. はじめに

産業副産物であるフライアッシュ、高炉スラグ微粉末は、マスコンクリートの温度応力の抑制、コンクリートの耐久性の改善、長期強度の増加等を目的としてコンクリート用混和材として利用されているが、これらの材料は、一般に強度の発現性が遅く、使用する場合には考慮する必要がある。

ところが最近注目されてきたシリカフェームは、フライアッシュ、高炉スラグ微粉末に比べ比表面積が非常に大きく、成分の90%以上がSiO₂であり非晶質であることから、アルカリ溶液中で可溶性となり、ポゾラン反応が早期に強く現れるため、初期強度発現性がよいと考えられている[1]。一方、粉殻灰(以下RHA)は、製造方法によってはシリカフェームと同様に比表面積が大きい非晶質な粒子となり[2]、混和材としてコンクリートに混和した場合、圧縮強度が増加した等の報告例もある[3]。

そこで本研究ではRHA(USA製)、フライアッシュ、高炉スラグ微粉末、シリカフェームについて、分散性を検討するための超音波分散性試験と活性指数を比較するための電気伝導率試験を行い、次にこれらを混和したモルタルの基礎性状試験を行い性状比較を行った。

表-1 混和材の主な性質

混和材	主な性質			図中の凡例
	比重	比表面積 (cm ² /g)	非晶率 (%)	
フライアッシュ	2.25	3,110	—	--*--
高炉スラグ微粉末	2.90	4,420	—	---○---
シリカフェーム	2.20	200,000	86.5□.....
RHA	2.15	410,000	86.5	—▲—

2. 実験概要

2.1 使用材料

使用材料は、普通ポルトランドセメント(比重:3.16、比表面積:3,260 cm²/g)、豊浦標準砂(比重:2.64)水道水、および4種類の混和材である。

表-1に今回使用した混和材の主な性質を、また表-2にその化学成分を示す。表中のRHAの値は実測値であり、比重試験はJIS A 6201-1991に準拠し、比表面積はBET法、非晶率はX線解析法で測定した。なお他の混和材はカタログ値である。

表-2 混和材の化学成分(%)

混和材	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	ig. loss
フライアッシュ	56.0	29.0	4.2	4.4	1.8
高炉スラグ微粉末	33.6	13.0	0.6	41.4	1.0
シリカフェーム	92.1	0.5	0.6	0.7	2.6
RHA	91.4	0.7	0.2	0.2	4.1

*1 西松建設(株)技術研究所主任技師、 工修(正会員)
 *2 西松建設(株)技術研究所研究部長、 (正会員)
 *3 西松建設(株)技術研究所主任研究員、 (正会員)

高ボゾランのRHAは、燃焼温度500℃～700℃で比較的長い時間焼成することによって製造されると報告されており[2]。今回使用したRHAはこれに基づいて製造された輸入品である。

写真-1、2にRHAの一次粒子、RHAの粒子表面のSEM写真を示す。SEMの観察から今回使用したRHAは一次粒子の平均粒径が10μm程度で形状は不定形であり、ポーラスな粒子構造をしているのが観察できた。また、その他の混和材の一次粒子の平均粒径はフライアッシュが20～40μm、高炉スラグ微粉末6～8μm、シリカフュームが0.15μm程度（いずれもカタログ値）である。

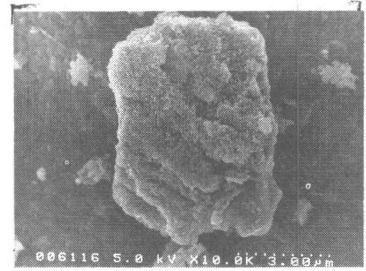


写真-1 RHAの一次粒子
(×10,000)

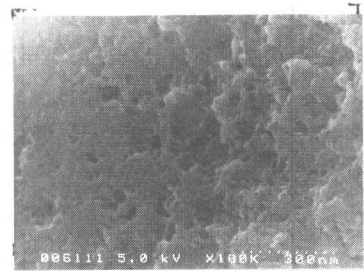


写真-2 RHA粒子の表面
(×100,000)

2.2 配合

モルタルの配合は、結合材：標準砂＝1：2、水結合材比＝65%として、混和材の混和率は、セメントに対する内割りで0、10、20、30、40、50%とした。なお今回の試験ではコンシステンシーの調整は行わなかった。

2.3 練り混ぜ方法

練り混ぜ方法は、JIS R 5201に準拠した。

2.4 試験項目および方法

試験項目および方法を以下に示す。

(1) 混和材の物理性状試験

- ①超音波分散性試験：レーザー解析式粒度分析測定装置（株式会社島津製作所製）を用いてサンプルを蒸留水中で超音波分散し、メディアン径の経時変化と超音波負荷時間10分の粒度分布を測定した（負荷した超音波の出力は45W）。なおメディアン径とは、相対粒子量が50%の粒子径のことである。
- ②電気伝導率試験[4]：40±1℃に管理されたCa(OH)₂ 200CCの飽和溶液の電気伝導率を初期値として測定した後、乾燥して粉碎されたサンプルを5gを投入し、ガラス棒で攪拌しながら2分後の電気伝導率を測定した。

(2) モルタル試験

- ①フロー試験：JIS R 5201に準拠した。
- ②単位容積重量試験：内径7.6cm×高さ8.8cmの容器にモルタルを3層で入れ、振動を加えて十分締め固めを行った後重量を測定した。
- ③圧縮強さ、曲げ強さ試験：JIS R 5201に準拠したが、フロー値が150mm以下のモルタルは型枠に3層で詰め、突き数20回でさらに振動を加えて供試体を作成し、材令3、7、28、91日で試験に供した。

3. 試験結果および考察

3.1 物理性状試験

(1) 超音波分散性試験

図-1にメディアン径と超音波振動時間の関係を、また図-2に超音波負荷時間10分の各混和材の粒度分布を示す。

シリカフェームは超音波による分散時間が長くなるに従い、メディアン径が小さくなった。これはシリカフェームが超微粒子のため、1次粒子の状態ではなく、大きな凝集状態が存在していたためだと考えられる。また、シリカフェームは10分後の粒度分布のバランスがよく、これが緻密なコンクリートができる一要因ではないかと考えられる。

RHAは、超音波の負荷によるメディアン径の変化はほとんどなかった。これはRHAの一次粒子の平均粒径よりメディアン径の方が若干大きいことを考えると、RHAも非常に小さな凝集をしていると考えられるが、シリカフェームの様に超微粒子でないため大きな凝集はせず、超音波の様な負荷をかけてもこの小さな凝集は分散しなかったためではないかと考えられる。

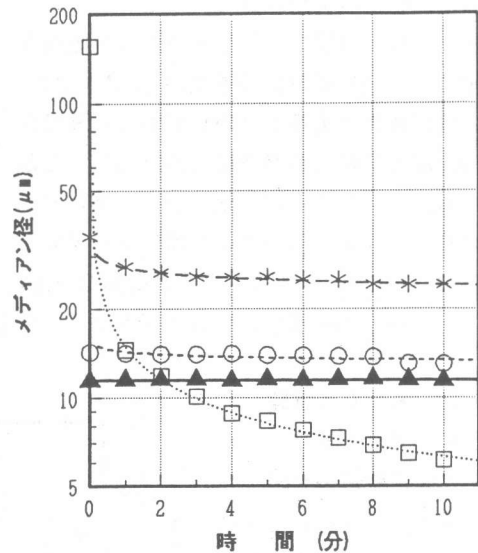


図-1 メディアン径と超音波振動時間

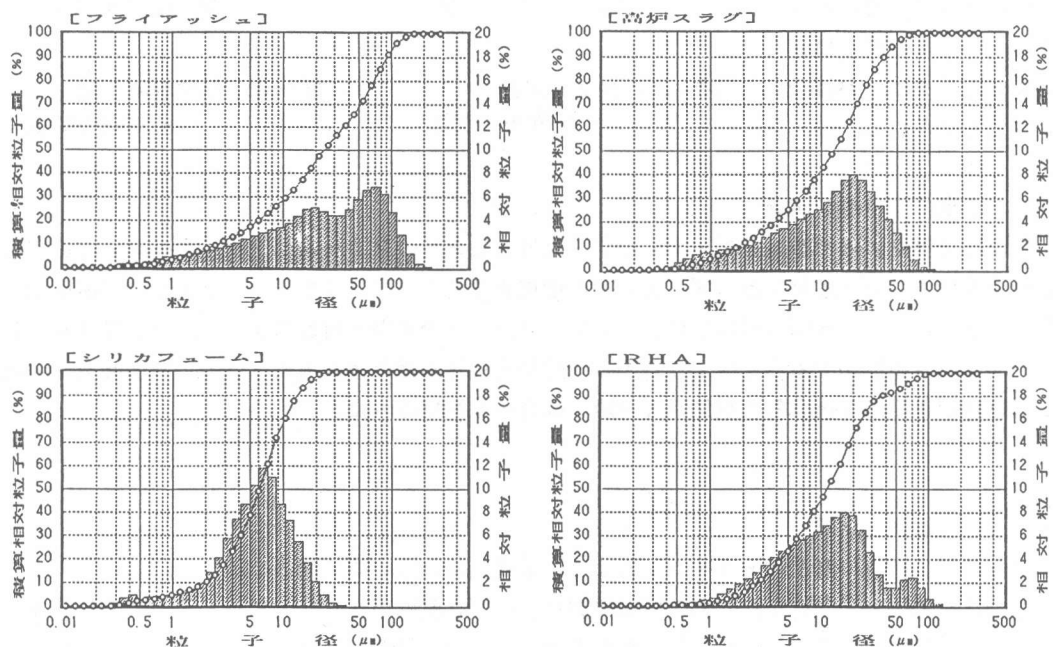


図-2 超音波負荷時間10分の粒度分布

(2) 電気伝導率試験

表-3に各材料の電気伝導率差の測定結果を示す。一般に電気伝導率差が1.2以上のものは高活性であるといわれており、RHAは他の混和材にくらべて活性が高いことがわかる。電気伝導率は、サンプルの溶け易さつまり比表面積に関係すると報告されており[5]、RHAのポーラスな構造の微細な空隙にも十分に溶液が浸透し、RHAがポゾラン反応していると考えられる。

表-3 電気伝導率差

混和材	比表面積 (cm^2/g)	Δ (ms/cm)
フライアッシュ	3,110	0.40
高炉スラグ微粉末	4,420	1.20
シリカフェーム	200,000	2.00
RHA	410,000	3.20

Δ = 電気伝導率差

3.2 モルタル試験

(1) フロー試験

フロー試験結果を図-3に示す。フライアッシュと高炉スラグ微粉末を混和したモルタルは混和率が増加するに従い、フローが大きくなったが、シリカフェームとRHAを混和したモルタルは混和率が増加するに従いフローは小さくなった。RHAはポーラスな粒子構造であるためフローが減少したと考えられる。

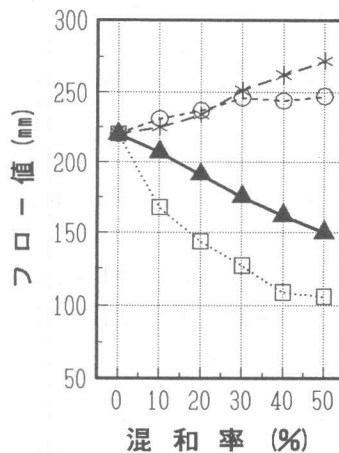


図-3 フロー値と混和率の関係

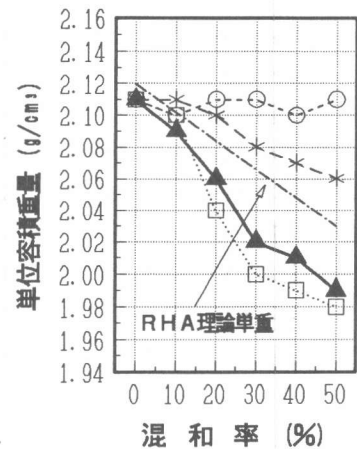


図-4 単位容積重量と混和率の関係

(2) 単位容積重量試験

単位容積重量試験の結果を図-4に示す。RHAとシリカフェームはフライアッシュとほぼ等しい比重であったにもかかわらず、混和率が増加するに従いフライアッシュとの単位容積重量の差が大きくなった。今回の試験では、コンシステンシーの調整を行わなかったため、RHA、シリカフェームを混和することにより若干の空隙が入り込んだためと考えられる。なお配合上の理論単位容積重量から換算した空気量(空隙)は2~3%であった。

(3) 圧縮強さ試験

図-5に各材令の無混和モルタルに対する圧縮強度比と混和率の関係を示す。材令3日では全混和材が混和率の増加に従い、圧縮強度は小さくなったが、その中でシリカフェームが、他の混和材に比較して強度発現性がよかった。材令7日ではシリカフェームがすべての混和率で無混和モルタルより大きくなった。RHAは混和率30%以下では無混和モルタルより大きい値となり、40%以上では無混和モルタルより小さいが、フライアッシュ、高炉スラグ

より強度比が大きくなった。材令28日では、フライアッシュを除く他の混和材はすべての混和率で無混和モルタルより大きくなり、RHAはシリカフェームとはほぼ同じ値になった。材令91日では、材令28日と同じ結果であったが、RHAは混和率30%が強度のピークを示した。

RHAは、圧縮強度の強度発現性はシリカフェームより若干劣るが、フライアッシュ、高炉スラグ微粉末よりよいことがわかった。また単位容積重量試験の結果からRHA、シリカフェームを混和したモルタルは、他の混和材を混和したモルタルより若干空気量が多いということを考慮すると、RHA、シリカフェームを混和することによる強度増加は今回の結果よりも若干大きいものであると考えられる。

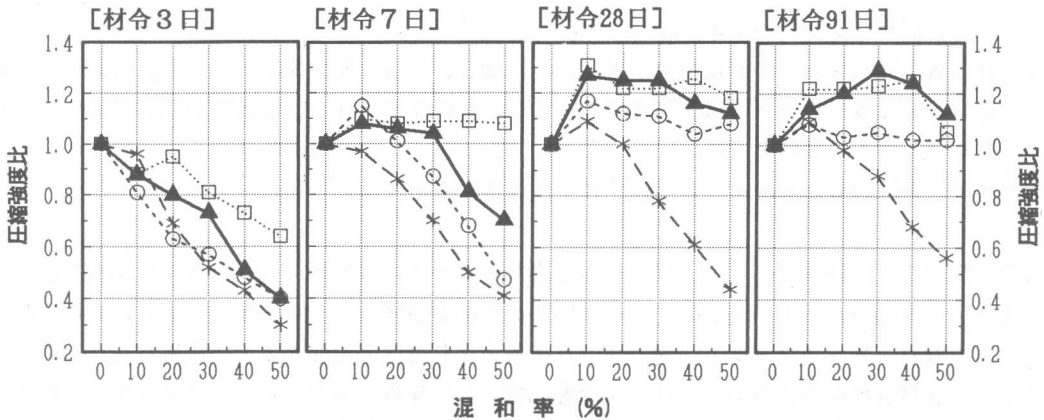


図-5 圧縮強度比と混和率の関係

(4) 曲げ強さ試験

図-6に各材令の無混和モルタルに対する曲げ強度比と混和率の関係を示す。

材令3日では、すべての混和材がほぼ同じ値で、混和率が増加するに従い曲げ強度は減少した。材令28日以上では各材令で若干のバラツキがあったが、RHAがもっとも無混和モルタルに近い値となった。

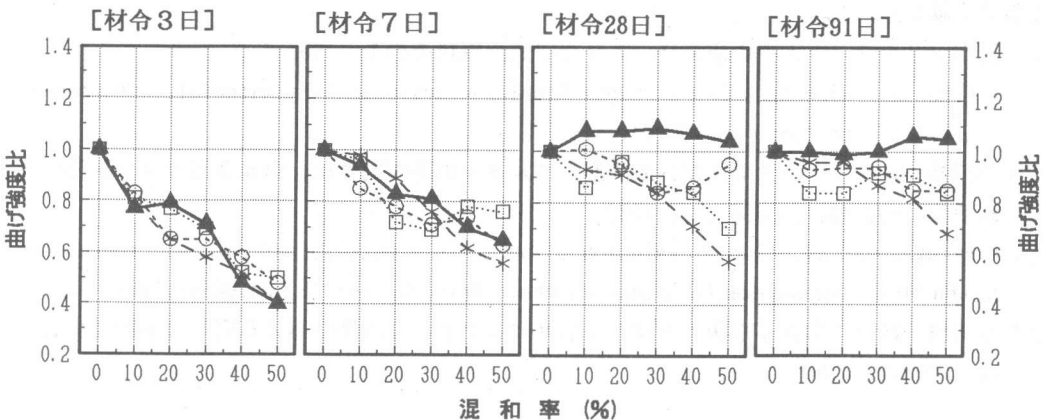


図-6 曲げ強度比と混和率の関係

4. まとめ

今回の試験のまとめを以下に記す。

- 1) シリカフェームの粒子は非常に大きな凝集をした状態で存在していたが、RHAの粒子は大きな凝集をしていなかった。
- 2) RHAを混和したモルタルのフロー値は、フライアッシュ、高炉スラグ微粉末より小さいがシリカフェームより大きくなった。
- 3) RHA、シリカフェームを混和したモルタルの単位容積重量は、混和率が増加するに従い小さくなった。
- 4) RHAを混和したモルタルの圧縮強度の発現性はシリカフェームより若干劣るがフライアッシュ、高炉スラグ微粉末よりよかった。
- 5) RHAを混和したモルタルの曲げ強度は、材令3、7日ではフライアッシュ、高炉スラグ微粉末、シリカフェームとほぼ同じであったが、材令28、91日では若干他の混和材より強度が増加する傾向にあった。
- 6) RHAを混和したモルタルの最適混和率は30%であった。

今回使用したRHAは、シリカフェームと異なりポーラスな粒形ではあるが、シリカフェームの様な大きな凝集をしていないので、一次粒子の微細な空隙に十分溶液が浸透するため反応面積が大きくなり、フライアッシュ、高炉スラグ微粉末より強度発現性がよい結果になったと考えられる。RHAは従来よりコンクリート用混和材として使用されているフライアッシュ、高炉スラグ微粉末およびシリカフェーム等と同様な使用方法が考えられ、今後RHAを混和したコンクリートの特性に関する試験を行う予定である。

謝辞

今回実験を行うに当たりカリフォルニア大学バークレー校 Mehta教授、東京理科大学辻助教、伊藤助手および豊田高専中嶋助教に御助言を頂き、また㈱コンケムよりRHAの提供を頂いた。ここに付記して謝意を表する。

【参考文献】

- 1) 日本シリカフェーム技術研究会、第3会研究会資料その1、1992.2
- 2) P.K.Mehta : Rice Husk Ash-A Unique Supplementary Cementing Material、Advances in Concrete Technology、pp.407-431、1992.5
- 3) 杉田修一ほか：シラスおよび粉殻灰混入モルタルの基礎的性状、第43回セメント技術大会講演集、Vol.43、pp.206-211、1989
- 4) M.P.Luxman et al. : Rapid evaluation of pozzolanic activity of natural products by conductivity measurement、Cement concrete Research、Vol.19、pp.63-68.1989.
- 5) 杉田修一ほか：もみがら灰のポゾラン活性について、土木学会第45回年次学術講演会、pp.202-203、1990