

論文 高活性もみがら灰を用いたコンクリートの諸物性に関する研究

山道浩仁*1・久保田栄一*2・庄谷征美*3・杉田修一*4

要旨:もみがら灰を用いたコンクリートの有効性は過去の研究によって確認されている¹⁾²⁾³⁾⁵⁾⁶⁾。本研究では、低温焼成(540℃)によって得られた高活性もみがら灰を、セメント質量の内割質量比 10~30%を置換えてコンクリートに混入し、硬化コンクリートの強度特性及び細孔分布を測定した結果、顕著な強度増加、性質改善を確認した。また、もみがら灰混入によって発生する著しいワーカビリティの低下は、近年開発されたポリカルボン酸系高性能減水剤によって克服されることが判明した。

キーワード:低温焼成,高活性もみがら灰,硬化コンクリート,ポリカルボン酸系高性能減水剤

1. はじめに

農業分野での産業廃棄物であるもみがらは、焼成することによってSiO₂を豊富に含んだ混和材となり、過去の研究からその有用性は確認されている。非晶質で比表面積の大きなもみがら灰(以下RHAと記す)を得るためには、できるだけ低温での焼成が望ましく残留炭素減少に必要な最小限の時間内に焼成するのが良い。ここでいう高活性とは、参考文献5)において杉田,庄谷が使用したRHA(電気伝導率差2.4mS/cm 比表面積(BET)49m²/g)と比較し、本研究で用いたRHAは、表-1に示すような高い活性を示したことから名付けたものである。高活性のRHAは多量の微細孔を有しており、吸水性が高いという特性を持っている。そのため、フレッシュコンクリートの性状としては、ブリーディング現象は完全に抑制されるが、ワーカビリティの低下が著しく、そのため中程度以上の水結合材比を有するコンクリートに対しては有効に使用可能であった。しかしRHAを高強度に対する低水結合材比コンクリートへ使用することは、高性能減水剤を用いても困難であったが、近年開発されたポリカルボン酸系高性能減水剤は、この困難の解決に大きく貢献することが判明し、高活性RHAを高強度コンクリートへ

利用する道が開かれた。

本研究においては、高活性RHAを混和材としたコンクリートについて行っている研究の中から、主として強度特性と細孔構造について報告する。

RHAの特性	
密度(g/cm ³)	2.15
電気伝導率差(mS/cm)	4.3
比表面積(BET法)(m ² /g)	102
強熱減量(%)	3以下

電気伝導率差は参考文献4)の方法を用いた。

表-1 RHAの特性

2. 実験概要

2.1 使用材料

使用材料は、セメント:普通ポルトランドセメント(密度3.16g/cm³),粗骨材:岩手県久慈市産硬質砂岩碎石(表乾密度2.67g/cm³,最大寸法20mm),細骨材:岩手県久慈市産川砂(表乾密度2.66g/cm³,粗粒率2.60),混和材RHA:燐炭を粉砕し、2.36mmふるいを通したものを電気炉にて焼成(540℃,3時間)したものを振動式ボールミルにて粉砕(60分)したもの。混和剤として、減水剤:ポリカルボン酸系高性能減水剤(減水剤標準形I種,標準仕用量C×%=0.3~2.0%:原液),AE剤(天然樹脂酸塩:10倍希釈液)を用いた。

*1 八戸工業大学 工学研究科 土木工学専攻 (正会員)

*2 八戸工業大学 工学研究科 土木工学専攻

*3 八戸工業大学 教授 工学部土木工学科 工博 (正会員)

*4 八戸工業大学 教授 工学部土木工学科 博士(工学)(正会員)

表-2 コンクリートの種類と配合

コンクリートの種類	Gmax (mm)	W/(C+R) (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)						
				W	C	R	S	G	AE (C×%)	SP (C×%)
P-45	20	45	41.0	185	411	0	692	1000	0.03	0.00
R-45-10					370	41	686	990	0.04	0.22
R-45-20					329	82	679	980	0.06	0.50
R-45-30					288	123	672	972	0.09	1.10
P-55		55	42.9	179	325	0	762	1018	0.03	0.00
R-55-10					293	33	757	1012	0.02	0.14
R-55-20					260	65	751	1004	0.03	0.27
R-55-30					228	98	746	996	0.04	0.48
P-65		65	38.0	172	265	0	702	1150	0.03	0.00
R-65-10					238	26	698	1142	0.02	0.09
R-65-20					212	53	694	1136	0.03	0.16
R-65-30					185	79	690	1130	0.04	0.20

2.2 実験概要

(1)コンクリートの種類と配合

コンクリートの種類と配合は表-2に示すとおりである。スランブおよび空気量を一定とするため、AE剂量と高性能減水剂量で調整した。RHAの置換率は、各水結合材比(45%,55%,65%)のブレンコンクリートをベースとして、セメント質量に対する内割で10%,20%,30%とした。練混ぜには2軸式強制練りミキサーを用い、締固めにはテーブルバイブレーターを用いた。

なおスランブは8.0±1.5cm,空気量は5.0±1.0%とした。

(2)試験項目

フレッシュコンクリート

- ① スランブ試験 (JIS A 1101)
- ② 空気量試験 (JIS A 1118)

硬化コンクリート

- ① 圧縮強度試験 (JIS A 1108)
 - ② 引張強度試験 (JIS A 1113)
- 材齢:3日,7日,28日,91日
- ③ 細孔分布測定

水銀圧入法(材齢28日で測定)

粗骨材を除去し、モルタル分を、アセトンに浸漬し、真空乾燥させ水和反応を止めた粒径5mm程度の試料を用いた。

3. 実験結果および考察

3.1 フレッシュコンクリート

フレッシュコンクリートの性状としては、ブレン

コンクリートのW/C=65%ではブリーディングが見られたが、RHAを置換したコンクリートではブリーディングが見られず、プラスチックでワークブルなコンクリートとなった。試験練りで得られた混和剤混入率を 図-1および図-2に示す。

図-1はAE剤の混入率である。水結合材比45%では、RHA置換率が増加するのに伴い、AE剤の使用量も増えているが、水結合材比55%、65%では置換率10%ではブレンコンクリートの使用量よりも少ない量で同一空気量が得られた。図-2は減水剤の混入率である。いずれの水結合材比でも、RHA混入率が増加するとともに使用量も増加している。しかし、本研究で用いたポリカルボン酸系高性能減水剤は、従来使用してきた高縮合トリアジン系化合物高性能減水剤に比較すると、1/6~1/8の使用量となった。

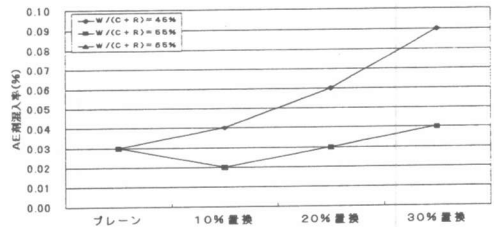


図-1 AE剤混入率

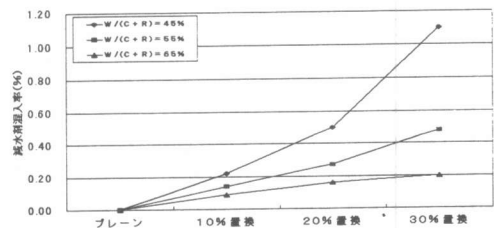


図-2 減水剤混入率

3.2 強度試験

図-3～図-5は水結合材比別の圧縮強度と材齢の関係である。この図から、水結合材比45%および55%では、材齢3日、7日の早期強度でプレーンコンクリートと比べて高くなっている。また、RHAの置換率が大きいほど高強度となり、長期材齢においても強度の増加が著しくなっている。

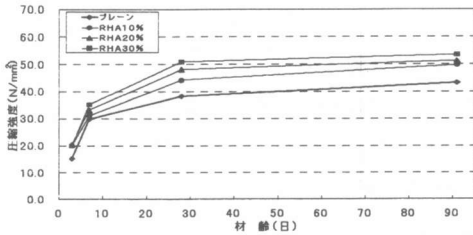


図-3 圧縮強度-材齢(W/(C+R)=45%)

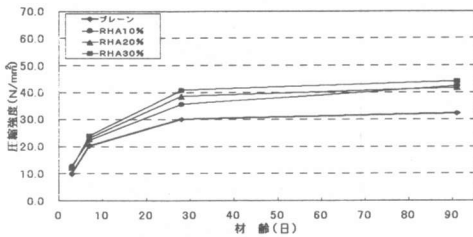


図-4 圧縮強度-材齢(W/(C+R)=55%)

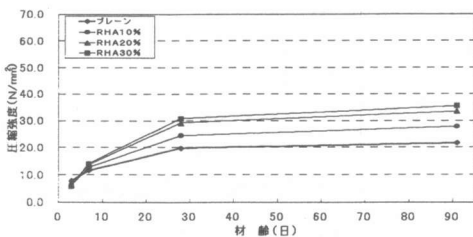


図-5 圧縮強度-材齢(W/(C+R)=65%)

強度比率で見ると、図-6に示すように、水結合材比45%材齢3日において、いずれの置換率においても130%以上の比率となっているが、材齢を考えると、ポゾラン効果と微粉末効果の両方の効果を考えるのが妥当であろう。

図-7は水結合材比55%の比率であり、材齢28日で置換率30%の場合で136%となった。

材齢91日でも同程度であり、傾向としては水結合材比45%と同じである。図-8に示すように、水結合材比65%では材齢7日以降に急激に強度が増加している。特に際立っているのが材齢28日における置換率30%であり、強度比率が156%となった。

水結合材比65%の場合、材齢3日での強度増加が見られず、前二者の場合と異なっている。

本研究で用いたRHAは、表-1に示したように、非晶質レベルが高いので、粉碎に伴う二次凝集力³⁾⁵⁾が大きいと考えられる。結合材に対する凝集分散効果は、結合材質量に対する減水剤量の比率に依存すると考えると、図-2から判るように、水結合材比65%に対する減水剤所要量は、RHA置換率30%の場合、水結合材比45%に比較して18%、55%に比較して40%の使用量となっている。このような理由で減水剤による結合材の分散効果が十分に発揮されなかったのではないかとと思われる。また、水結合材比45%と55%の間にも同様な考察が可能であり、後者は前者の45%程度の減水剤使用量であるので、配合調整によってこれらの差異を小さくできれば、水結合材比55%および65%の場合の強度比率は更に向上することが期待できる。

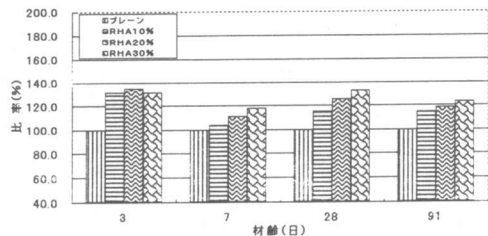


図-6 強度比率(W/(C+R)=45%)

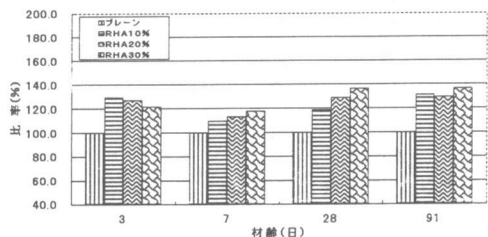


図-7 強度比率(W/(C+R)=55%)

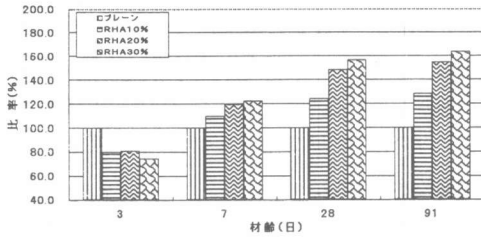


図-8 強度比率(W/(C+R)=65%)

図-9～図-11は材齢と引張強度の関係である。引張強度もプレーンコンクリートに比べて顕著な強度増加が見られた。水結合材比45%では圧縮強度に見られるような置換率の増加に伴って強度も増加するという傾向は見られず、置換率20%が最も高い強度を示し、材齢28日では、プレーン強度2.9(N/mm²)に対し、4.0(N/mm²)と高い強度を示し比率は138%となった。水結合材比55%,65%については置換率による強度の変化は見られなかったが、水結合材比55%では材齢28日で、プレーン強度2.5(N/mm²)に対して3.1(N/mm²)、比率で124%、水結合材比65%ではプレーン強度2.2(N/mm²)に対して2.9(N/mm²)、比率は132%とそれぞれRHAコンクリートが高い強度を示した。

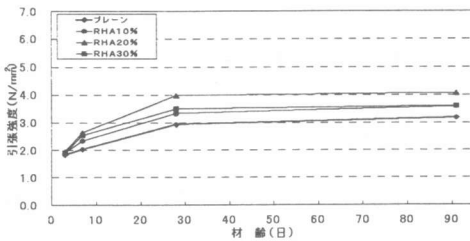


図-9 引張強度-材齢(W/(C+R)=45%)

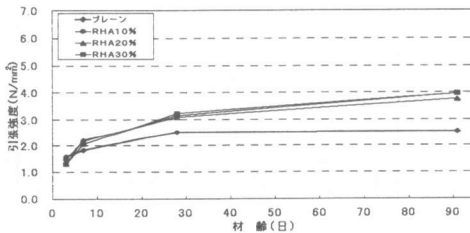


図-10 引張強度-材齢(W/(C+R)=55%)

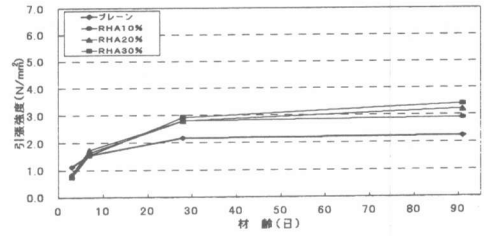


図-11 引張強度-材齢(W/(C+R)=65%)

圧縮強度と引張強度の関係による脆度係数は、図-12～図-14に示したように、水結合材比45%では10～16の間に、水結合材比55%では8～14の間、水結合材比65%では7～12の間にそれぞれ分布し、通常のコンクリートとほぼ同程度となった。

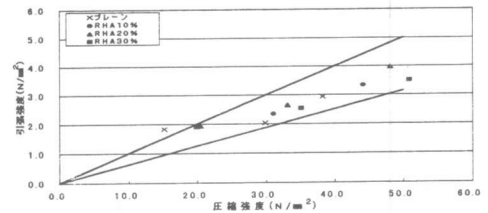


図-12 引張強度-圧縮強度
W/(C+R)=45%

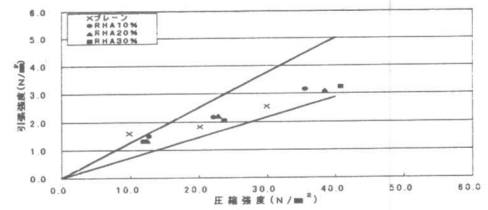


図-13 引張強度-圧縮強度
W/(C+R)=55%

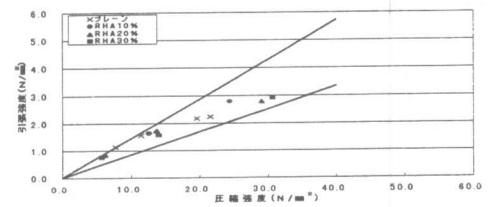


図-14 引張強度-圧縮強度
W/(C+R)=65%

3.3 細孔分布

図-15～図-17は材齢28日でのコンクリート細孔分布の測定結果である。水結合材比45%の場合は図-15に示すとおり、20nm前後の範囲に細孔量のピークがあり、RHA置換率が高いほど多くなっている。それにともなって、25nm以上の細孔量は置換率が高いほど少なくなる。水結合材比55%の場合は図-16に示すとおり、細孔半径20nm前後及び75nm前後の二つの範囲に細孔量のピークが存在する。前者ではプレーンの細孔量が少なく、RHA置換率が大きいほど細孔量が多くなっており、後者ではプレーンの細孔量が多く、RHA置換率が大きいほど細孔

量は少なくなっている。換言すれば、RHAのポズラン効果によって細孔化が促進されていることを示している。水結合材比65%の場合は図-17に示すとおり、細孔半径20nm前後および75nmの範囲に細孔量ピークが存在し、RHA置換率の増大とともに細孔量も増加している。しかし、プレーンに対しては150nmが最大のピークを示しており、図-15,16の場合と傾向を異にしている。いずれの水結合材比においても、RHAコンクリートはプレーンコンクリートより小さい細孔半径を有しており、RHAを混入することによって組織が緻密化していることがわかる。総細孔容積と平均孔半径を表-3に示す。

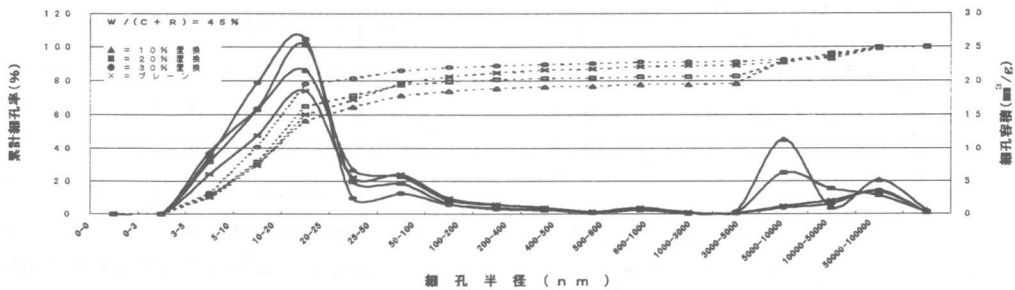


図-15 細孔分布(W/(C+R)=45%)

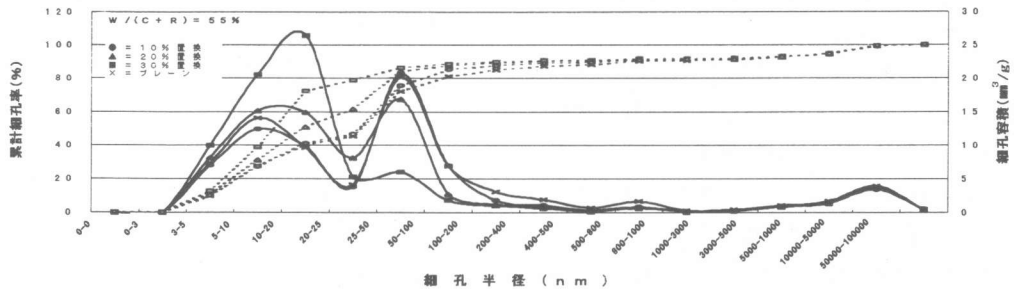


図-16 細孔分布(W/(C+R)=55%)

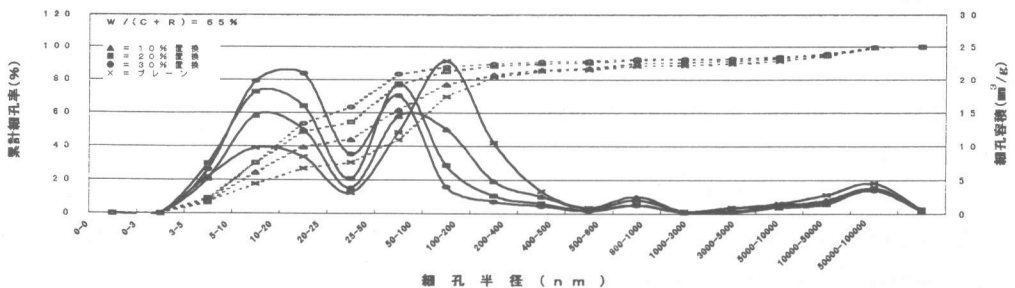


図-17 細孔分布(W/(C+R)=65%)

表-3 総細孔容積と平均孔半径

	総細孔容積(mm ³ /g)	平均孔半径(nm)
P-45	60.7	18.11
R-45-10	77.2	18.27
R-45-20	74.8	13.90
R-45-30	69.8	13.98
P-55	77.4	30.99
R-55-10	70.8	41.28
R-55-20	74.9	23.74
R-55-30	78.8	18.24
P-65	88.0	71.22
R-65-10	81.7	54.29
R-65-20	85.7	41.41
R-65-30	88.2	24.06

4. まとめ

本研究の結果を以下に記す。

- 1) フレッシュコンクリートの性状については、ブリーディングは、参考文献5)と同様にRHAを置換したコンクリートでは全く観察されなかった。ワーカビリティの低下に対しては、本研究で用いたポリカルボン酸系高性能減水剤がきわめて有効であることが確認された。この結果は高強度コンクリートへの高活性RHAを利用する道を拓くものである。
- 2) 強度試験の結果から、高活性RHAは高水セメント比のコンクリートだけでなく、低水セメント比のコンクリートに対しても、ポリカルボン酸系高性能減水剤の使用によって大きな強度増加が得られることが確認された。
- 3) 細孔分布の結果から、高活性RHAを用いた場合、プレーンコンクリートに比べ何れの水結合材比、置換率に対しても細孔化が著しく、水和物は緻密化していることが確認された。また、総細孔量は変わらず細孔径が小さくなっているため、耐酸性の向上、中性化、塩化物イオンの浸透および凍結融解に対する抵抗性の向上が期待される。

参考文献

- 1) P.K.Mehta: Properties of Blended Cement Made from Rice Husk Ash, ACI Journal, 74-9, pp440-442, 1997.
- 2) Y.Yamamoto and S.M.Lakho: Production and Utilization of Active Rice Husk Ash as a Substitute for Cement,

Proc.of JSCE, No.32, pp.157-166, June, 1982.

- 3) S.Sugita, M.Shoya and H.Tokuda: Evaluation of Pozzolanic Activity of Rice Husk Ash, 4th CANMET/ACI Int. Conf. On Fly Ash Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete Istanbul, Turkey, May 1992, SP132-28.
- 4) M.P.Luxan 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, 庄谷征美: ポズラン材としてのもみがら灰の有効利用に関する基礎的研究, 土木学会論文集No.526, V-29pp. 43-53
- 6) S.Sugita, Yu Qijun, M.Shoya, Y.Tukinaga, Y.Isojima: Resistance on the Rice Husk Ash Concrete to Carbonation, Acid Attack and CL⁻ Penetration. ACI Inc Conf. on Highperformance Concrete ; Design & Materials and Recent Advances in Concrete Technology, December 2-5, 1997, Kuala Lumpur Malasia SP-172, pp.29-44