

論文 粃殻灰を混入したコンクリートの特性に関する研究

月 岡 存^{*1}・高 山 幸 伸^{*2}

要旨：コンクリートのアルカリ骨材反応の抑制に効果があるといわれる粃殻灰を、セメント質量の 0～15%置き換えてコンクリートに混入し、フレッシュコンクリートの性質（ブリーディング、凝結時間、発熱特性など）と硬化コンクリートの性質（圧縮強度、乾燥収縮、耐久性など）について検討をした。その結果、コンクリートの結合材の一部として粃殻灰を用いてもほとんど問題がなく、むしろ、フレッシュコンクリートと硬化コンクリートの性質の中でよい影響が認められたものがあった。

キーワード：粃殻灰、混和材、フレッシュコンクリート、硬化コンクリート

1. はじめに

農業生産の廃棄物である粃殻は、水田における暗渠排水の疏水材等として利用されている程度で、残りの大部分は焼却処分されている。このような粃殻の焼却灰（Rice Husk Ash：以下、RHAと記す）は質量で約 90%の SiO_2 を含有していることから、コンクリート用の混和材として利用する試みがなされてきた。その結果、RHAのポゾラン活性は高く [1]、RHAの混入はコンクリートのアルカリ骨材反応抑制に効果のあること [2][3]、などが報告されており、筆者らもこれらのことを実験により確認している [4]。

本研究は、廃棄物の有効利用をめざして、RHAをコンクリートの結合材の一部としてセメントと置き換えて使用した場合、RHAの混入がフレッシュコンクリートと硬化コンクリートの諸性質に及ぼす影響について実験的に検討したものである。

2. 実験概要

2. 1 使用材料

セメントはC社製の普通ポルトランドセメント（比重3.16）を用いた。RHAはタイ国産の白色灰を振動ミル（ボールミル）で粉砕したもので、 SiO_2 の含有量 92.1%、比重 2.27、ブレン値 $20,500 \text{ cm}^2/\text{g}$ であった。細骨材は三重県雲出川流域産の陸砂で比重 2.60、粗粒率 2.87 のもの、粗骨材は同じく雲出川流域産の玉砂利で比重 2.66、最大寸法 20mm、粗粒率 6.69 のものをそれぞれ使用した。混和剤はAE減水剤（JIS A 6204 適合の標準形）と空気量調整剤（AE助剤）を用いた。

2. 2 実験方法

(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-1に示すとおりであり、スランプと空気量、水結合材比（ $W/(C+A)$ ）および細骨材率を一定とした。RHAの置換率は、コンクリートの単位水量を変更しないことなどを考慮して、セメント質量に対する内割合で0、5、10、15%の4種類

*1 三重大学助教授 生物資源学部生物資源学科農業土木学大講座、農博（正会員）

*2 三重大学大学院 生物資源学研究科生物生産工学専攻（現：三重県土木部）、生修

表-1 コンクリートの種類と配合

コンクリートの種類	粗粒灰置換率 (%)	スランブ (cm)	空気量 (%)	水結合材比 (%)	細骨材率 s/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)					
						水 W	セメント C	粗粒灰 A	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤 Ad
BA	0	8	5.5	6.0	4.5	167	278	0	807	1009	0.56
RH-5	5	8	5.5	6.0	4.5	167	264	14	805	1007	0.63
RH-10	10	8	5.5	6.0	4.5	167	250	28	804	1005	0.70
RH-15	15	8	5.5	6.0	4.5	167	236	42	802	1002	0.77

とした。所定のスランブと空気量を得るための混和剤の使用量は、RHAの混入により少し増加し、置換率 15% (RH-15) の場合、置換率 0% (BA) のときと比べて、AE減水剤で約 1.4倍、空気量調整剤で 1.2倍の使用量であった。

(2) コンクリートの試験

フレッシュコンクリートの試験として、スランブと空気量、ブリーディング、凝結時間 (JIS A 6204) および断熱温度上昇試験 (供試体体積 約 55 l) を実施した。また、硬化後のコンクリートについては、圧縮強度、静弾性係数 (JSCE-G 502)、クリープ ($\phi 15$ cm 円柱供試体使用、材齢 28日 載荷開始)、乾燥収縮 (長さ変化試験 JIS A 1129) および凍結融解試験 (JIS A 6204) を行った。ただし、断熱温度上昇とクリープについては、BAとRH-10のコンクリートのみの試験とした。

3. 実験結果および考察

3.1 フレッシュコンクリートの特性

(1) ブリーディング

図-1は、経過時間とブリーディング率の関係を示したものである。ブリーディングの終了する時間は4種類のコンクリートにほとんど差はないが、RHAの置換率の大きいほどブリーディング率が小さく、BAと比べてRH-15は約1/3のブリーディング率である。これはRHAの保水性が大きいためと考えられ、RHAを混入したコンクリートは材料分離の点で良好な結果を示すものといえる。なお、4種類のコンクリートはすべてプラスチックでワーク可能な性状を示していた。

(2) 凝結時間

図-2は、凝結時間試験における貫入抵抗と経過時間の関係を示したものである。RHAを混入したコンクリートの凝結時間は、混入しないもの (BA) より少し長くなったが、これらはJIS A 6204で規定された標準形AE減水剤の性能 (基準コンクリートに対する凝結時間の差: 90 min) の範囲内に相当し、問題にならない程度であると思

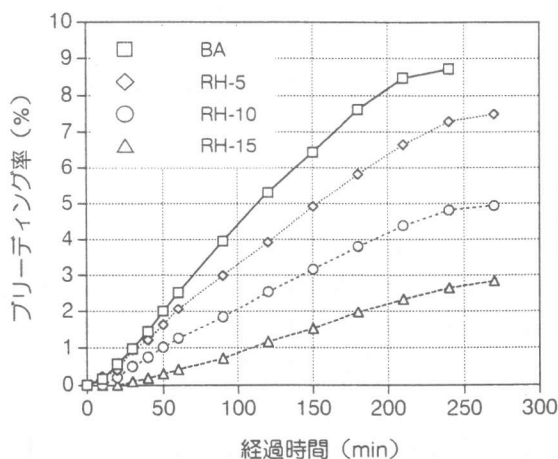


図-1 ブリーディング

われる。次に、RHAの置換率が凝結時間に及ぼす影響については一定の傾向は認められなかった。

(3) 断熱温度上昇

図-3は、BAとRH-10のコンクリートの断熱温度上昇試験の結果（コンクリートの練り上り温度：25.5～26.0℃）を示したものである。両者の温度上昇量 T （℃）と経過日数 t の関係を一般に用いられている断熱温度上昇曲線式で近似すると以下ようになった。

$$BA : T = 47.7(1 - e^{-0.874t}) \quad \text{----- (1)}$$

$$RH-10 : T = 44.3(1 - e^{-1.018t}) \quad \text{---- (2)}$$

図-3と式(1)、(2)より、 $t=2$ 日頃までの温度上昇量はほとんど同じであるが、RH-10はBAより終局断熱温度上昇量が3.4℃小さいことがわかる。これは土木学会の示方書[5]で示されている普通ポルトランドセメントを使用した場合の単位セメント量の差（この場合、BAとRH-10では単位セメント量28kgの差）に伴う温度上昇量の差3.1℃を少し上回る大きさである。このことから、マスコンクリートの温度応力によるひびわれの防止には、RHAを混入したコンクリートのほうがBAより有利であると考えられる。

3. 2 硬化コンクリートの特性

(1) 圧縮強度と静弾性係数

図-4より、RHAを混入したコンクリートの材齢7日の圧縮強度は、BAと同等かそれ以下の値を示しており、RHAの置換によるセメント量の減少の影響がでたものと思われるが、BAとの圧縮強度の差は最大で1.6MPa（8%）程度である。ま

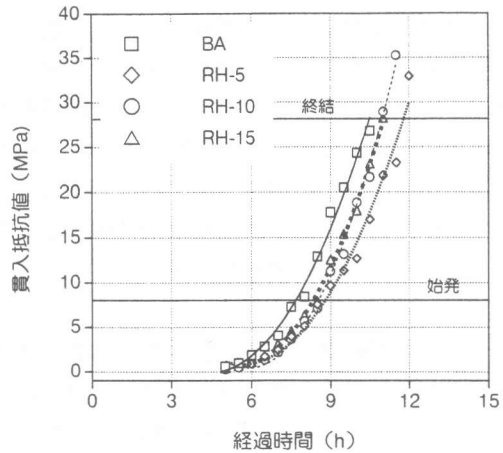


図-2 凝結時間

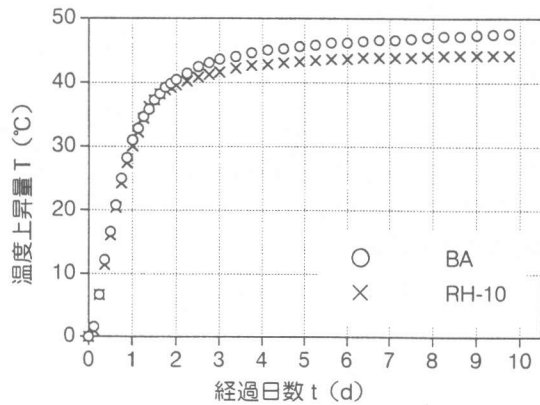


図-3 断熱温度上昇

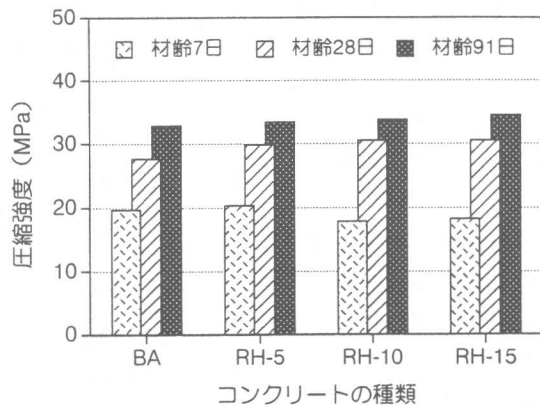


図-4 圧縮強度

た、材齢28日と91日の圧縮強度はRHAを混入した方が少し大きくなる傾向がみられる。したがって、圧縮強度に関してはいずれの材齢においても大差はなく、RHAを結合材として使用しても問題はないものと思われる。次に、材齢28日における各コンクリートの静弾性係数は、表-2のとおりである。圧縮強度は少し増加しているが、静弾性係数はほぼ同じ値を示しており、シリカフェームなどと同様の傾向がみられる。

表-2 静弾性係数

コンクリートの種類	静弾性係数 $\times 10^3$ MPa
BA	25.2
RH-5	23.8
RH-10	24.6
RH-15	24.8

(2) クリープ

図-5は、圧縮クリープ試験（供試体数各2個、載荷応力=圧縮強度 $\times 1/3$ ）の結果を示したものである。単位クリープひずみの大きさは、BAのほうがRH-10より大きく、載荷後8週（56日）ではBAはRH-10の約1.35倍となった。この原因の一つとしては、RH-10のほうがBAより圧縮強度が大きいことが考えられる。また、載荷後8週におけるクリープ係数 ψ を求めた結果、BAは $\psi=0.86$ 、RH-10は $\psi=0.63$ であった。クリープ係数が小さいということは、マスコンクリートにおける温度応力によるひびわれの発生には不利であるが、プレストレストコンクリートの有効プレストレスの点では有利であるといえる。なお、クリープ係数の大きさが示方書[6]に示されている値より小さくなったおもな原因は、今回の実験環境における相対湿度が約80%と高かったこと[7]と載荷後の経過日数が少ないことによるためではないかと考えられる。

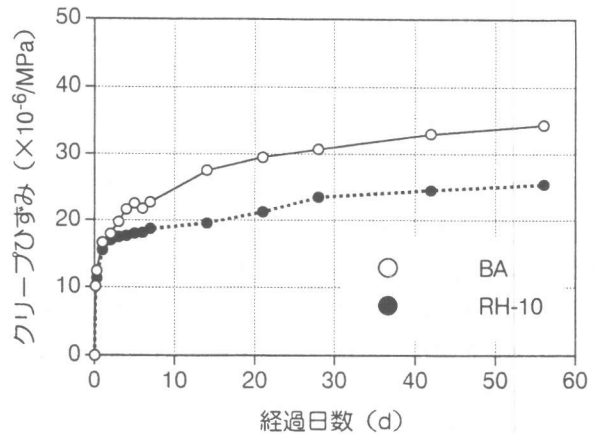


図-5 クリープひずみ

(3) 乾燥収縮

材齢7日を基準としたコンクリートの乾燥収縮ひずみの測定結果（供試体各3個の平均）を図-6に示した。RHAを混入したコンクリートの乾燥収縮ひずみは、BAのコンクリートと同じかより小さくなった。このことから、コンクリートにRHAを混入しても単位水量が増加しないかぎり乾燥収縮の点からは問題がないものと思われる。なお、乾燥に伴うコンクリートの質量減少率の大きさは、BAのコンクリートのほうがRH

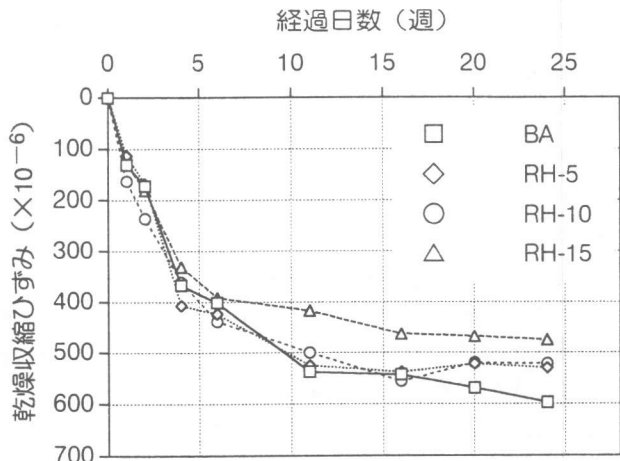


図-6 乾燥収縮ひずみ

Aを混入したコンクリートよりわずかに大きい傾向がみられた。

(4) 凍結融解に対する耐久性

図-7は、凍結融解試験における供試体（各3個の平均）の相対動弾性係数の変化を示したものである。RH-5とRH-15のコンクリートの相対動弾性係数はBAより大きく、RH-10はBAより小さくなった。これら4種類のコンクリートの供試体作製時の空気量の測定結果は5.7～6.5%であり、この空気量も相対動弾性係数の大きさに影響しているのではないかと考えられた。参考のために、同時に試験した空気量測定値4.6%のBAの配合のコンクリートの相対動弾性係数は、RH-10より小さく、200サイクル経過時で約45%であった。なお、200サイクル経過時における相対動弾性係数が60%前後と小さくなった原因としては、水結合材比が60%と少し大きかったことと空気量がやや少なかったことなどが考えられる。

次に、凍結融解試験における供試体の質量減少率の変化を図-8

に示した。質量減少率はRHAの置換率の大きいほど小さい値を示しているが、質量の減少はコンクリートの表面の損傷の程度を表わすものと考えられる。

上記のことから、所定の空気量を確保すれば、RHAを混入したコンクリートの凍結融解に対する耐久性は、RHAを用いないコンクリートと同等かそれ以上であると考えてよいと思われる。

4. まとめ

コンクリートのアルカリ骨材反応抑制に効果があるといわれる珪灰（RHA）を、セメント質量の0～15%置換してコンクリートに混入した。これらのコンクリートのフレッシュ性状および硬化後の性質について、本実験で得られ結果をまとめると次のようである。

- (1) RHAを混入しても混和剤の増量（最大で無混入の場合の1.4倍）のみで所定のスランプと空気量をもつコンクリートが得られた。
- (2) RHAの置換率の大きいコンクリートほどブリーディングが少なかった。また、RHAを

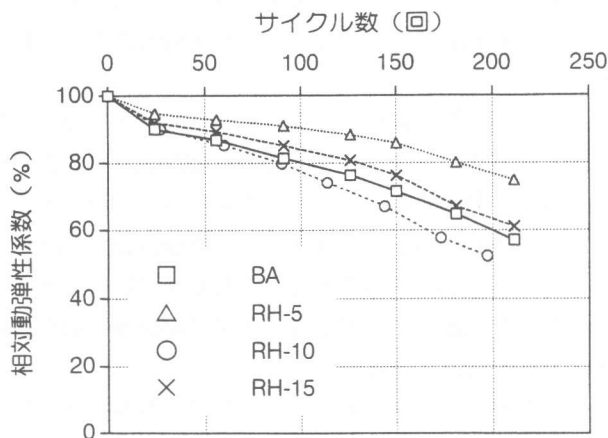


図-7 相対動弾性係数（凍結融解試験）

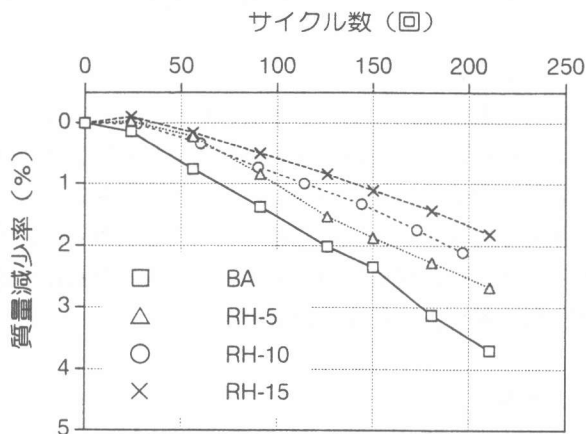


図-8 質量減少率（凍結融解試験）

混入したコンクリートの凝結時間は、無混入のものより最大で70分程度長くなった。

- (3) RHAを混入したコンクリートの断熱温度上昇量は、無混入のコンクリートより小さかった。
- (4) RHAの置換率がコンクリートの圧縮強度に及ぼす影響については、いずれの材齢においても大差はなかった。また、静弾性係数はRHAの置換率の影響をほとんどうけなかった。
- (5) RHAを混入したコンクリートのクリープは、無混入のコンクリートより小さかった。
- (6) RHAを混入したコンクリートの乾燥収縮ひずみの大きさは、無混入のコンクリートと同じかあるいは小さかった(6か月で最大 100×10^{-6} 程度の差)。
- (7) RHAを混入したコンクリートの凍結融解に対する耐久性は、無混入のコンクリートと同等またはそれ以上であった。

以上の結果から、本実験の範囲内では、コンクリートにRHAを混入してもほとんど問題はないものと思われた。むしろ、ブリーディング、断熱温度上昇、長期材齢の圧縮強度および耐久性などでは無混入のコンクリートよりよい結果が得られた。RHAを混入する場合の置換率は、アルカリ骨材反応抑制の効果も考慮すると10%以上とするのがよいと思われる。

5. あとがき

今回の実験で使用したRHAは、野焼きして得られた外国産の灰を粉砕したものである。RHAの性質は、焼却時の温度の影響をうける[1]といわれており、また、粉砕の程度(粉末度)などにより異なると考えられる。このため、RHAをコンクリート用の混和材(結合材)として使用する場合には、本実験のようなコンクリートの性質についての検討が必要であると思われる。また、国内の粉砕を有効に使用するためには効率的で安定的な性質が得られるような焼却方法と粉砕方法の確立が望まれる。

参考文献

- [1] 杉田修一、庄谷征美：ポゾ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、pp.43-53、1995.11
- [2] 中嶋清実、河野伊知郎他：コンクリート用混和材としてのもみがら灰の利用について、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.16、No.1、pp.419-424、1994.6
- [3] 浅井喜代治：粉砕灰混入によるアルカリ骨材反応抑制に関する研究(1)、農業土木学会論文集、No.174、pp.95-101、1994.12
- [4] 浅井喜代治、高山幸伸：粉砕灰混入によるアルカリ骨材反応抑制に関する研究、H8年度農業土木学会大会講演要旨集、pp.500-501、1996.6
- [5] 土木学会：コンクリート標準示方書(施工編)、pp.185-186、1996
- [6] 土木学会：コンクリート標準示方書(設計編)、pp.29-30、1996
- [7] 村田二郎、岡田清：フレッシュコンクリートのレオロジー・コンクリートの弾性とクリープ、山海堂、pp.143-147、1981