

もみがら灰混合コンクリートの性質に関する基礎的研究

山 道 浩 仁

要 旨

コンクリートは、土材料や鋼材料とともに、近代の建設事業に不可欠な基幹材料である。その使用量は膨大なものであり、容易に他に取って代えられることのない重要な材料である。

これまで、コンクリートの長所を活かし、短所を改善しようとする様々な研究及び技術開発が行われており、その研究成果の影響は大きい。近年、コンクリートへの要求性能の複雑化、多様化に応えるために、高流動コンクリート、高強度コンクリート、高耐久性コンクリート等の高性能コンクリートの研究・開発が行われ一部は実用化されている。この高性能コンクリートを実現する上で、フライアッシュ、高炉スラグ微粉末、シリカフューム等の混和材料が大きな役割を担っており、これらの混和材は、工業生産に伴う副産物であり、日本では積極的に利用する研究がなされ建設材料として有効に利用されている。

一方で、農業分野の副産物(廃棄物)であるもみがらは、焼成することにより二酸化ケイ素(SiO_2)を質量で90%以上含有するもみがら灰(RHA)となる。これは、シリカフュームとほぼ同等の含有量であり、日本をはじめ高純度のケイ素資源を待たない国々にとって、植物資源の再生産によって得られるということは、環境保全の観点からも他の材料と比較して決定的な利点である。しかしながら、もみがら灰の有効利用に関する研究は、国内外の研究機関において多くの報告がなされており、その有用性は確認されているが未だ研究段階であり規格化及び実用化されていないのが現状である。

そこで本研究ではこの農業生産の副産物であるもみがらの有効利用をめざして、高活性を有し、かつ品質の安定したもみがら灰を大量に生産し、これを用いたコンクリートの強度特性及び耐久性について実験を行い、もみがら灰混合コンクリートの基礎的な性質を明らかにし、あわせて規格化されているシリカフュームと比較することにより混和材としての有効性を明らかにすることを目的としたものである。

本論文は、もみがら灰(RHA)をコンクリート用混和材として用いた場合の力学的特性、耐久性について実験を行い、基本的な性質を明らかにするとともに、その有効性を評価したものである。

本研究では、安定した品質を有し、かつ大量のRHAを必要とすることから、攪拌式の連続式焼成炉によって生産した。

RHA混合コンクリートのフレッシュ性状は、RHAが有する特性上、混合率が増加するのに伴い高性能減水剤とAE剤の使用量はコントロールコンクリートと比較して増加する傾向にある。しかし、本研究で用いたRHAは過去の研究で用いられていたものと比較して混和剤使用量が少なくなった。この理由として、本研究で用いたポリカルボン酸系の高性能減水剤がRHAと相性がよいこと、強熱減量が小さいため、混和剤を吸着すると思われる残留炭素量が少ないことが考えられる。ま

学位記番号と学位：第23号，博士（工学）

授与年月日：平成16年3月20日

授与時の所属：大学院工学研究科土木工学専攻博士後期課程

た、RHA 及び SF を混合したコンクリートは本研究の範囲内において初期欠陥の原因となるブリーディングが見られなかった。

RHA を混合したコンクリートの圧縮強度は、水結合材比や RHA 混合率によって異なり、本研究において用いた高い活性を有する RHA は低い水結合材比においてその効果が顕著であることを確認した。また、RHA の活性度を圧縮強度と結合材水比（セメント水比）の関係からセメントの減量率として提案した。

圧縮強度と平均細孔半径には相関関係があり、高い圧縮強度を有するコンクリートほど平均細孔半径は小さくなることを示した。また、RHA を混合した場合に水密性が顕著に向上することを確認した。

RHA 混合コンクリートの耐久性として、中性化は RHA の混合率が増加または空気量が増加した場合に中性化の進行が早くなり、また水結合材比が高くなるほどに混合率および空気量による影響が大きくなることを確認した。また、ポゾラン反応を確認するために示差熱分析を行い、RHA の混合率の化学的上限は 30% 以下であることを示した。

凍結融解抵抗性において、RHA の混合率を 10% および 20% としたコンクリートにおいて、コンクリートの凍結融解抵抗性は向上することが確認されたが、混合率 30% において凍結融解抵抗性の向上が見られなかった。そのため凍結融解抵抗性に有効な混合率は 20% 以下であると考えられる。

RHA および SF の混合率を 10% として比較実験を行った結果、硬化後の気泡組織によって凍結融解抵抗性が向上する場合と悪化する場合があることを確認した。そこで、目標空気量を変化させた実験を行い十分な凍結融解抵抗性を得るためには硬化後の空気量で 4.5% 以上、気泡間隔係数 300 μm 以下にする必要があることを確認した。

各試験の結果から、本研究で用いた高い活性を有する RHA は、混合率が同じ場合、圧縮強度は SF に劣るが、耐久性は同等もしくはそれ以上を有することから、コンクリート用混和材として非常に優れた材料であることが確認された。

主指導教員 杉田修一

A fundamental study on the properties of concrete with Rice-Husk Ash

Hirohito YAMAMICHI

Abstract

Unlike steel and stone, concrete is a comparatively new construction material. Use of this material in building construction is relatively recent and may have begun less than a century ago. This century has seen very wide and effective research on this material and the effectiveness of this material has increased from decade to decade. Among construction materials, pozzolanic materials such as silica fume, fly ash, slag and natural pozzolan have played an important role in improving the quality of concrete products in compressive strength and durability. Among them silica fume is known to exhibit much higher compressive strength and durability of concrete when used as a cement replacement material. Except for the materials mentioned above, the use of rice husk ash (RHA) in concrete is under development. Under a controlled combustion condition the burning of rice husk can yield about 20% ash, containing 89-97% amorphous SiO_2 and with very high surface area. Recent investigations on the possible application of the rice husk ash in cement and concrete have been made by many researches. Maeta Corporation of Japan designed and built a rice husk combustion furnace, with which RHA with very high pozzolanic activity is produced accompanied by the recovery of the heat energy from the combustion of rice husk. RHA of high quality and stabilization had been prepared in a large scale.

This paper systematically presents the strength characteristic and durability of concrete such as freezing and thawing resistance, carbonation, and water permeability with the addition of highly active RHA. The effect of RHA on the pore volume, pore distribution of concrete and $\text{Ca}(\text{OH})_2$ content in concrete as well is investigated. The results are summarized below.

Being with very high activity, RHA have a larger adsorption to water and the hydration of cement mixing with RHA is promoted. The bleeding and segregation are negligible for all the mixtures containing high activity RHA. For a given air volume and slump concretes with RHA addition have a higher requirement of air-entraining agent and superplasticizer.

Besides W/B of 0.75 and 0.80 at the age of 3 days, the compressive strength of concrete incorporating high activity RHA is higher obviously than that of control concrete, irrespective of RHA content, W/B and the age. The more the replacement of RHA, the higher the compressive strength of concrete has. The largest compressive strength development ration of concrete is 70.3% higher than that of control concrete with W/B of 0.45 at the age of 7 days. The high activity rice husk ash has proved to be more effective to increase the compressive

strength of concrete at low water-binder ratio. The average pore radius of concrete decreased with the addition of RHA, especially the portion of the pores greater than 20 nm in radius, the average pore radius of concrete was evidently decreased instead of the increase in the amount of small pores. The penetration of water could be improved greatly by adding RHA to concrete.

The carbonation depth of concrete increased with increasing W/B, increasing RHA content and increasing the air content. The W/B has an effect on the resistance to the carbonation than the air content in concrete. Irrespective of the W/B, the $\text{Ca}(\text{OH})_2$ content in the RHA mortar decreased with increasing amounts of the RHA. The $\text{Ca}(\text{OH})_2$ content of the sample with 30% RHA was not detected. The reduced content of $\text{Ca}(\text{OH})_2$ can cause reduced resistance to carbonation because $\text{Ca}(\text{OH})_2$ acts as a buffer on the total carbonation reaction. The maximum mixing ratio of the highly activity RHA in concrete was limited within 30%.

The influence of the replacement of RHA with cement and the air content after hardening on the resistance of RHA concrete to the freezing and thawing and the bubble structure in RHA concrete are being studied. With increasing the number of freezing and thawing cycles, the mass loss of concrete with 10 and 20% RHA tends to decrease, but the mass loss of concretes adding with 30% RHA tends to increase. It shows the freezing and thawing resistance of concrete replaced with 10% and 20% RHA to cement is improved. The bubbles in RHA or silica fume concrete become smaller than that in control concrete. The bubbles and the air content after hardening in concrete have an obviously effect on the freezing and thawing of concrete. Concrete has a spacing factor of 300 μm and 4.5% of air content after hardening above can be used to obtain the effective resistances of RHA or silica-fume concrete to the freezing and thawing.

Professor (Chairperson) Shuichi SUGITA