CCAS の性能評価とフライアッシュの ASR 抑制効果

技術顧問　高田 龍一

1.はじめに

コンクリートは耐火性やコスト面で優れ、また形状や寸法の自由性から主要な建設材料である。このコンクリートの種々の性能を改善し、品質向上を目的として各種の混和材が用いられてきている。その一つにフライアッシュが従来から取り上げられているが、品質の不安定さから、高炉スラグ微粉のようには一般的使用には至っていない。特に、使用する石炭の産炭地の違い、火力発電所の炉の焼成方法によって、化学成分、粉末度、未燃炭素の含有率など多くの課題を抱えている。これらの課題の一つである未燃炭素量のコントロールについて、フジイケミカルズでは多量のエネルギーを消費する燃焼除去方法とは異なる洗浄除去方法を開発した。平成 25 年度資源循環技術基礎研究実施事業による研究成果によると、フライアッシュ洗浄装置の洗浄能力が確認され、このフライアッシュの利用普及が期待される。

本研究では、この洗浄したフライアッシュを CCAS と命名し、CCAS の性能評価を目的として、各種の検討を行ったので報告する。

2.研究概要

CCAS の性能評価にあたっては、CCAS 未燃炭素分 1.4%を含むもののほかに、洗浄前のフライアッシュ（以下 FA とする）で未燃炭素分 6.0%のもの、FA Ⅱ種相当の未燃炭素分 3.9%の計 3 種類の FA を用いて比較検討することにより評価することとした。それぞれについてモルタルの空気量、フロー値を測定し、空気連行性と流動性、強度発現について検討を行った。これらの実験を基に、フロー値比、活性度指数を求め、品質規定により分類を行った。検討にあたっては、フライアッシュのモルタルによるフロー値比及び活性度指数の試験方法(JIS A 6201-1999 付属書 2)、モルタル強度試験（JIS R 5201）に準じて試験を行い、モルタル強度試験の配合方法は内割り配合として FA を重量置換し、0%、10%、20%、30%の水準で FA を混入させた。モルタル強度試験に関しては、洗浄前の FA(未燃炭素 6.0%)と CCAS(未燃炭素 1.4%)の 2 種類について比較検討を行った。

さらに、FA による ASR 抑制効果の検討にあたっては、FA Ⅱ種相当の未燃炭素分 3.9%のものを使用し、反応性骨材には水ガラスをバインダーとした廃鋳物砂を用いて検討を行った。検討にあたっては，モルタルバー法（JIS A 1146)）に準じて試験を行った。配合方法は、内割り外割りの二つの方法を用い、内割りはセメントを重量置換し、外割りは骨材代替としセメント分量の体積配合とし、水セメント比 50%，セメント骨材比 1：2.5 の配合とした。また，セメントの内割り、外割りともに，0%，10%，20%，30%の水準でフライアッシュを混入させた。

コンクリート 2 次製品を念頭にいずれの供試体についても、養生温度 60℃，養生時間 4 時間の初期促進養生を施した。

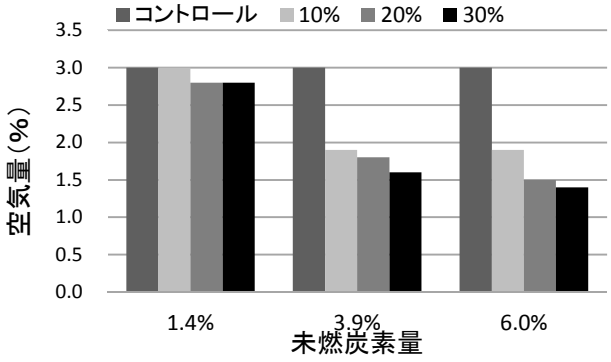

図 1　空気量

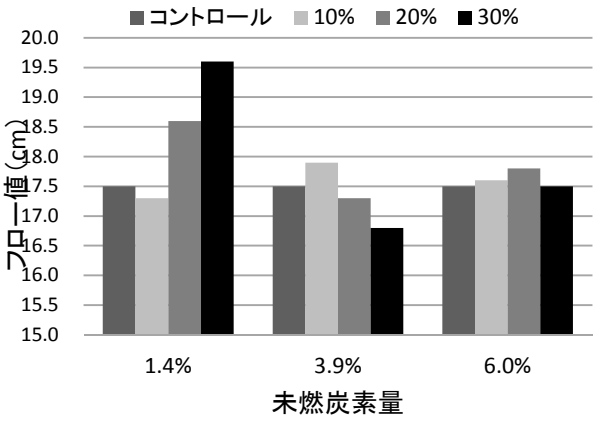

図 2　フロー値

3.結果及び考察

(1)空気連行性と流動性について

CCAS 未燃炭素 1.4%、3.9%、6.0%FA を使用したモルタルの空気量を図 1、フロー値を図 2 に示す。

CCAS1.4%はコントロールの空気量とほぼ変わらず、混入率が増加しても大差はない。しかし、未燃炭素が多く含まれている FA を使用する場合、混入率が増加すると空気量は激しく減少することが分かった。このことにより、未燃炭素が多く含まれているほど空気連行性が悪くなり、CCAS の空気連行性は洗浄前(未燃炭素 6.0%)よりも著しく改善されることが明らかとなった。

フロー値に関しては、CCAS は混入率 10%では流動性を発揮していないが、混入率が増加するにしたがってフロー値が増加し、混入率の増加とともに流動性の改善が確認された。

(2)強度発現について

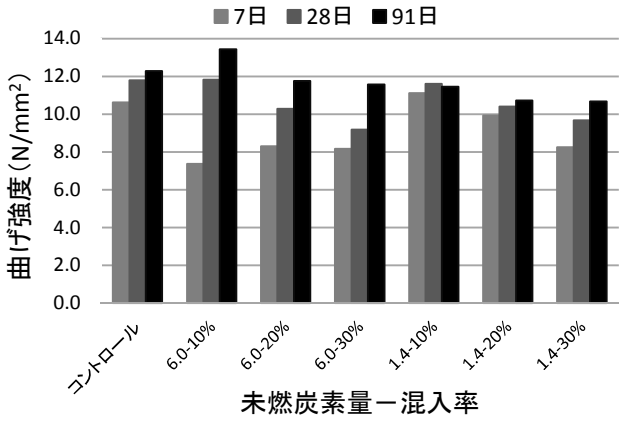

図 3　曲げ強度(FA)

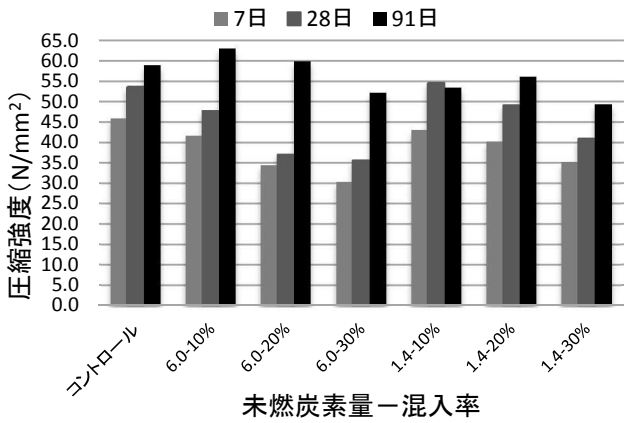

図 4　圧縮強度(FA)

曲げ強度試験の結果を図 3、圧縮強度試験の結果を図 4 に示す。横軸に未燃炭素 - 混入率と表記している。

未燃炭素 6.0%混入率 10%、20%の 91 日強度はコントロールを上回り、十分な強度を得られているが、その他の未燃炭素 6.0%の水準はコントロール以上の強度は得られなかった。一方、CCAS の初期強度は未燃炭素 6.0%を上回ったが、長期強度はそれほど増進しなかった。曲げ強度試験も同じような傾向が見られる。この結果は、空気連行性が少なからず影響していると考えられる。もう一点としては、CCAS は油分で洗浄しているため、FA 粒子の表面に付着している油分が反応を阻害していることも考えられる。一方で、比表面積が同一未燃炭素量であっても大きく異なっているため、これが影響していることも考えられる。

(3)ASR 抑制効果について

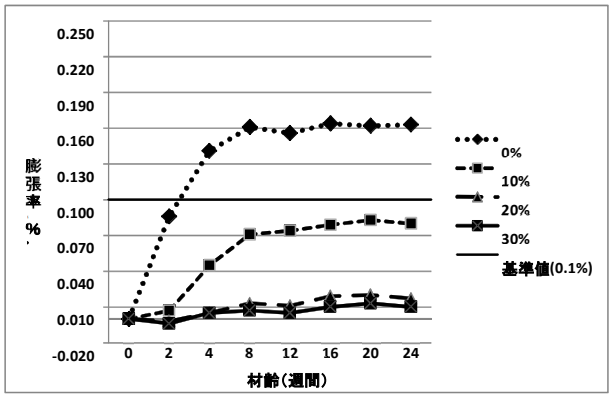

図-5 長さ測定(内割り配合)

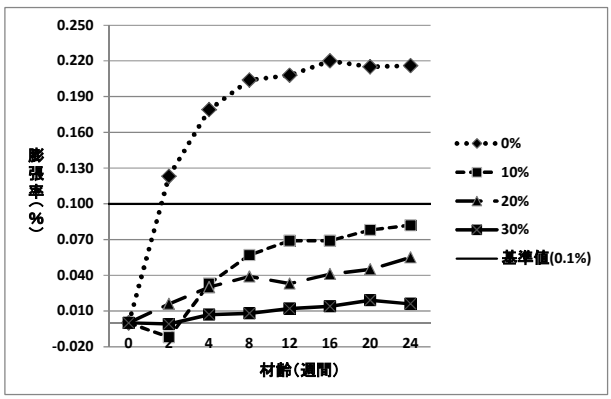

図-6 長さ測定(外割り配合)

内割り配合をした供試体の長さ変化率を図-5 に示す。

混和材の混入率 10%、20%、30%の全水準において ASR 基準値の 0.1%を下回る結果となった。

したがって、ASR は無害であると言える。

しかし、混入率 10%に関しては 20%、30%に比べると膨張率が高く 0.1%に近いため、フライアッシュは多量に混入させたほうが ASR 抑制の効果が高くなると考えられる。

外割り配合をした供試体の長さ変化率を図-6 に示す。

外割り配合は、混和材の混入率 10%、20%、30%の全水準において、内割り配合に比べると長さ変化率が高くなる傾向があった。これは、内割り配合に比べるとセメント量が多いため、ASR の影響も大きくなり、フライアッシュによる ASR の抑制がされにくいと考えられる。

しかし、今回の実験では ASR 基準値の 0.1%を下回る結果となっているため、ASR は無害であると言える。

(4)内割り外割りの強度試験結果について

上記の ASR 抑制に併せて強度試験も実施したので報告する。

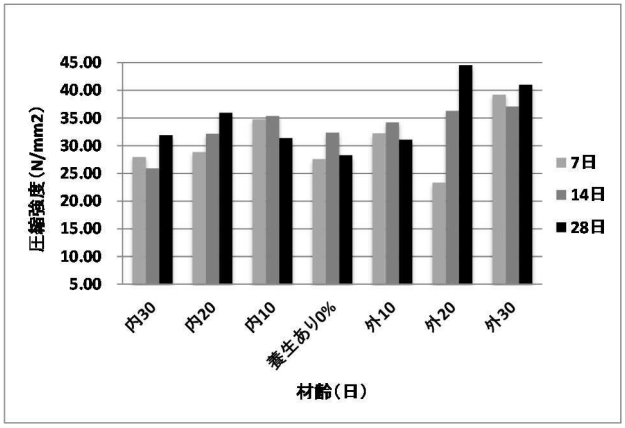

図-7 圧縮強度試験結果

圧縮強度試験結果を図-7 に示す。

内割り配合の圧縮強度に関しては、混入率 20%は材齢が長くなると強度も高くなっているが、混入率 10%は 28 日強度だけが少し低くなってしまい、30%では強度に少しばらつきが見られた。

外割り配合の圧縮強度に関しては、内割り配合に比べると全体的に強度は高くなった。

混入率 20%は、内割りのときと同様に時間が経つにつれて強度は高くなり、28 日強度は今回実験したものの中で最も強度が高い結果となった。

また、混入率 10%と 30%は材齢 7 日から 28 日まで強度が安定し、さらに混入率 30%に関しては、材齢 7 日から他の水準に比べ高い強度が得られた。

強度発現に関しては、どの水準を比べても、やはりセメント量の多い外割り配合のほうが内割り配合に比べて強度は高くなることが明らかである。

4.まとめ

今回の実験から、CCAS は洗浄前よりも満足できる空気量、フロー値が得られた。しかし、強度に関しては、初期強度は洗浄前以上の強度が発現しているが、長期強度の伸びがみられずポゾラン活性に乏しいことが明らかとなった。いくつかの原因が考えられるため、今後さらなる検討が必要であると考えられる。

フライアッシュによる ASR 抑制効果の検討では、内割り配合、外割り配合の混入率 10%、20%、30%水準の供試体は 6 ヶ月を経過した時点でも基準値となる 0.1%以下の値を示したことにより、フライアッシュには十分な ASR 抑制効果があることが明らかとなった。

また、強度試験においては、内割り配合、外割り配合の全てがコントロールに匹敵するか、またはコントロール以上の圧縮強度が得られたため、コンクリート 2 次製品への利用が示唆されることとなった。

参考文献

1)土木学会：コンクリート標準示方書［基準編］JIS 等関連基準，2002

2)江木俊雄、中島剛、高橋青磁、神門誠、藤本栄之助　　石灰灰洗浄装置の試作と洗浄効果

3)中国地方におけるフライアッシュを用いたコンクリートの設計施工指針試案