

## 高カーボン含有フライアッシュ用 コンクリート混和剤の実用化研究

エネルギー総合研究所 土木・建築担当 岩田 数典  
電源事業本部 島根原子力建設所建築課 中村 康雄



### 1 まえがき

フライアッシュをコンクリート混和材として使用すると、流動性の向上、水和熱の抑制、長期強度の増進等の利点がある。しかし、フライアッシュには未燃カーボンが含まれており、燃焼効率の悪い火力発電所から発生するJIS規格外品を使用する場合やJIS規格品を大量に使用する場合には、多量に含まれる未燃カーボンが混和剤を吸着するため、フレッシュ性状が悪化し混和剤の量が増大する<sup>(1)</sup>。また、凍結融解抵抗性の低下などコンクリートの硬化物性に悪影響を及ぼし、コンクリートの品質が低下するため、JIS規格外品の使用やJIS規格品であっても大量に使用することは困難であった。そこで、本研究では、この未燃カーボンを不活性化させ、分散性を高めた混和剤（以下、開発混和剤）を開発し、カーボン量および置換率の異なるフライアッシュコンクリートに適用した場合の、フレッシュ性状試験および硬化物性試験を実施することにより、開発混和剤のコンクリートへの適用性について検討した。

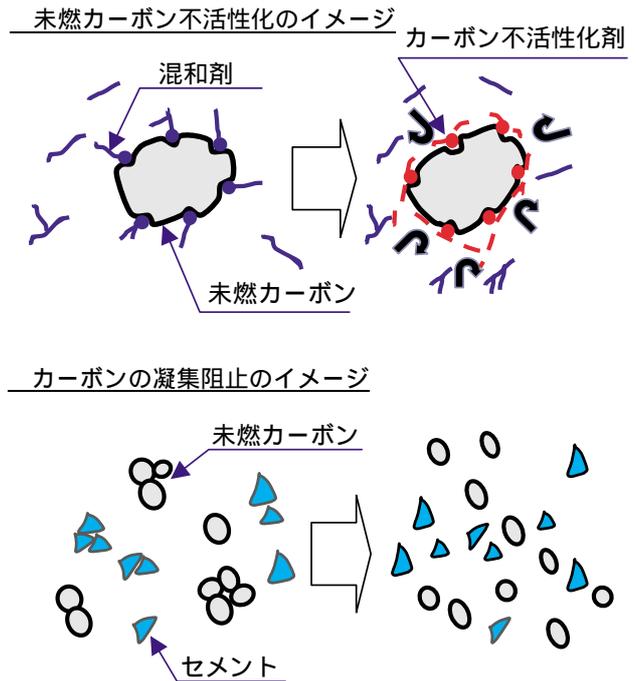


図1 開発混和剤の概念図

### 2 開発混和剤の概念

開発混和剤の概念を図1に示す。開発混和剤には、未燃カーボンを不活性化させる効果、カーボンの凝集を防止し所定の流動性を得る効果の2つの性能を有する必要がある。そこで、本研究にて開発した混和剤は、その効果を有する混和剤と、その効果を有する高性能AE減水剤の2つを最適比率にて混合し、一液化したものとした。

表1 フライアッシュ物性

| 種類     | 仕様   |
|--------|--|
| 水島灰 M1 | 密度：2.15g/cm <sup>3</sup> ，比表面積：3,920cm <sup>2</sup> /g，強熱減量：11.19% |
| 水島灰 M2 | 密度：2.08g/cm <sup>3</sup> ，比表面積：3,500cm <sup>2</sup> /g，強熱減量：17.31% |
| 自家発灰 Z | 密度：2.21g/cm <sup>3</sup> ，比表面積：4,960cm <sup>2</sup> /g，強熱減量：5.38%  |

### 3 実験概要

#### (1) 使用材料

表1に本実験で使用したフライアッシュの物性を示す。水島火力発電所産フライアッシュの強熱減量は、水島灰M1（以下、M1灰）が11%程度、水島灰M2（以下、M2灰）が17%程度であり、共にJIS規格外の品質である。また、自家発灰Z（以下、Z灰）は、強熱減量が5%程度であり、JIS種相当品である。

#### (2) 配合条件

実験に用いるコンクリートの配合条件を表2に示す。なお、フライアッシュはセメント置換（内割置換）、水結合材比は55%とした。

#### (3) 試験方法

コンクリートの練混ぜは、パン型コンクリートミキサー（50L練り）を用いて行った。なお、混和剤については、開発混和剤と空気量の調整用のAE助剤を併用した。

表2 配合条件一覧

|                | 配合名   | 置換率 (%) | 混和剤   |
|----------------|-------|---------|-------|
| 無置換コンクリート      | N0-00 |         | 既製品   |
|                | N1-00 |         | 開発混和剤 |
| 水島産M1灰置換コンクリート | M1-30 | 30      | 開発混和剤 |
|                | M1-20 | 20      | 開発混和剤 |
|                | M1-10 | 10      | 開発混和剤 |
| 水島産M2灰置換コンクリート | M2-30 | 30      | 開発混和剤 |
|                | M2-20 | 20      | 開発混和剤 |
|                | M2-10 | 10      | 開発混和剤 |
| 自家発灰置換コンクリート   | Z-30  | 30      | 開発混和剤 |

フレッシュ性状試験は、スランプ試験，空気量測定を実施し，経時変化を確認するため，練上がり直後と15分間，30分間静置後に実施した。スランプ，空気量の目標値を表3に示す。硬化物性試験は，圧縮強度試験，凍結融解試験，気泡間隔係数測定を実施した。

表3 フレッシュ性状試験目標値

| 項目  | スランプ                  | 空気量                    |
|-----|-----------------------|------------------------|
| 目標値 | 練上がり30分後<br>8 ± 2.5cm | 練上がり30分後<br>4.5 ± 1.5% |

#### 4 実験結果および考察

##### (1) フレッシュ性状試験

###### a. 水島灰M1への適用

図2, 3に, M1灰の試験結果を示す。図中の破線は, スランプおよび空気量の目標値であり, 運搬によるスランプロスを考慮し30分間静置後の値で評価すると, すべての置換率のケースにおいて, 目標値を満足している。経時変化についても, 各置換率によって若干の違いはあるもののほぼ同様の傾向を示しており, 強熱減量11%程度のフライアッシュの場合, セメント量の30%を置換しても, 開発混和剤を使用すればフレッシュ性状は問題ないといえる。

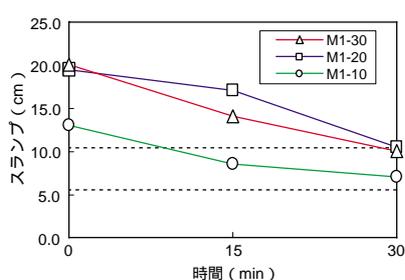


図2 M1灰スランプ経時変化

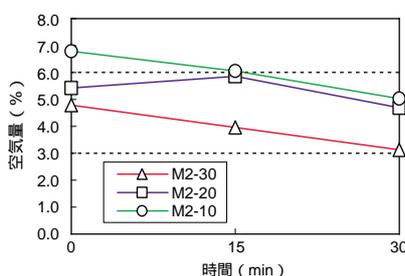


図3 M1灰空気量経時変化

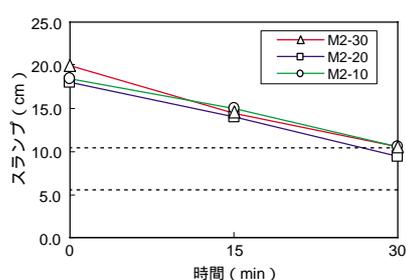


図4 M2灰スランプ経時変化

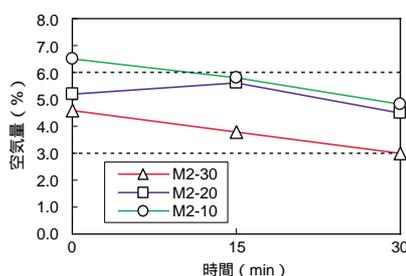


図5 M2灰空気量経時変化

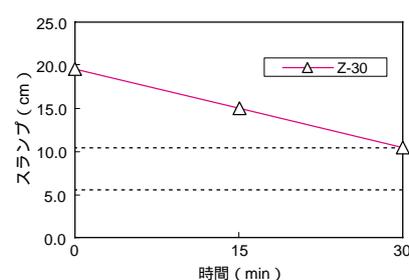


図6 Z灰スランプ経時変化

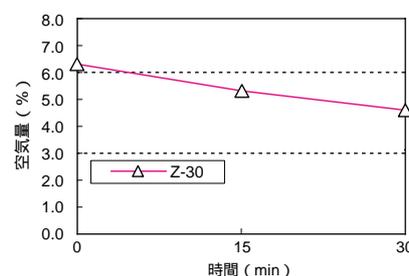


図7 Z灰空気量経時変化

###### b. 水島灰M2への適用

図4, 5に, M2灰の試験結果を示す。スランプおよび空気量は, すべての置換率のケースにおいて目標値を満足し, 経時的にも安定している。スランプについては, フライアッシュ置換率に関係なく経時ロスは同程度である。また, 空気量については, M2-20において最も経時ロスが小さく置換率により若干の違いはあるものの, ほぼ同様の経時変化を示している。以上より強熱減量17%程度のフライアッシュの場合, セメント量の30%を置換しても, 開発混和剤を使用すればフレッシュ性状は問題ないといえる。

また, 表4に各置換率における開発混和剤の添加量を示す。添加量については, セメントとフライアッシュの合計重量(C+F)の0.6%~0.9%程度であり, 強熱減量大きいフライアッシュにおいても一般的な高性能AE減水剤と同程度の添加量で所定のフレッシュ性状を確保でき, 開発混和剤は未燃カーボン量を多く含んだフライアッシュを置換したコンクリートに有効な混和剤といえる。

###### c. 自家発灰Zへの適用

図6, 7に, Z灰の試験結果を示す。スランプおよび空気量は, すべての置換率のケースにおいて目標値を満足し, 経時的にも水島灰と同様の傾向を示しており, 自家発灰においても, 開発混和剤は有効であると

いえる。

## d. カーボン量と開発混和剤添加量との関係

開発混和剤がカーボン量の異なるさまざまな灰種および置換率のフライアッシュコンクリートに有効であることが明らかになった。そこで、フライアッシュの強熱減量と置換量を掛け合わせた値を総未燃カーボン量と定義し、総未燃カーボン量と開発混和剤の添加量の関係を示す(図8)と、ほぼ比例関係となった。このことは、フライアッシュの灰種や置換率に関係なく、総未燃カーボン量によって開発混和剤の添加量が推測できることを示している。

## (2) 硬化物性試験

### a. 圧縮強度試験

図9に、今回使用したフライアッシュの中で強熱減量の最も大きなM2灰置換のもの、無置換のもの、の圧縮強度試験結果を示す。なお、図中の破線は材齢28日目標強度の24N/mm<sup>2</sup>であり、すべての配合で目標強度を満足した。

一般に、フライアッシュをセメント代替として内割り置換した場合は、置換率の増加とともに初期の強度発現性は低下するが、置換率が20%以下の場合、材齢91日で無置換コンクリートとほぼ同等の強度が得られるといわれている<sup>(2)</sup>。今回使用した水島灰においても置換率が20%以下においては、91日で無置換コンクリートとほぼ同等の強度発現性を示しており、一般のJIS規格フライアッシュと同様の結果となった。さらに、フライアッシュを混和したコンクリートは、フライアッシュのポゾラン活性による長期の強度増進も期待できる。

以上の結果から、強熱減量の大きいJIS規格外のフライアッシュを用いたコンクリートにおいても、JIS規格フライアッシュを用いたコンクリートと同等の強度発現性を有し、品質低下はないことが確認できた。

### b. 凍結融解試験

図10に相対動弾性係数の推移を示す。なお、耐凍害性は一般に連行空気量と関係があることから、同一配合において、空気量が3%と6%の試料で試験を実施した。

灰置換したコンクリートについては、M1, M2灰とも、基準(300サイクルで60%以上)をほぼ満足し、空気量の3%程度のものは、一般のコンクリートと同様に凍結融解抵抗性が低下する傾向が確認されたが、十分な空気量を確保すれば、凍結融解抵抗性については問題ないといえる。

表4 M2灰混和剤添加量

| ケース名  | 添加量 (C + F) × % |
|-------|-----------------|
| M2-30 | 0.88            |
| M2-20 | 0.72            |
| M2-10 | 0.62            |

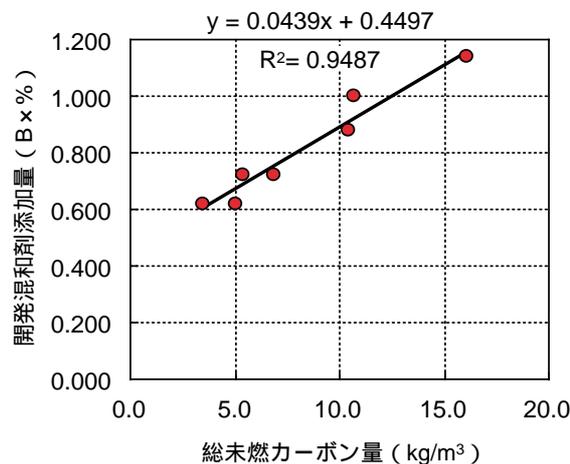


図8 総未燃カーボン量と開発混和剤添加量

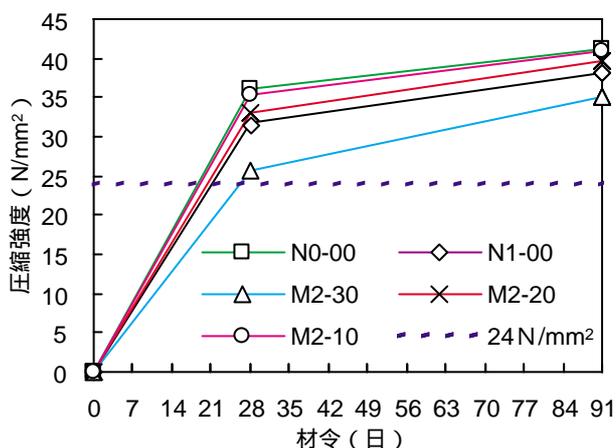


図9 圧縮強度試験結果

無置換コンクリートについては、N1-00は空気量に関係なく90サイクルまでに相対動弾性係数が60%以下となり、凍結融解抵抗性は低下する結果となった。このことから凍結融解抵抗性に関しては、開発混和剤は無置換コンクリートには適さないといえる。適正な空気量を確保しても凍結融解抵抗性が低下する原因は、気泡間隔係数が関係していると考えられるため、以下の測定を実施した。

c. 気泡間隔係数

表5に気泡間隔係数の測定結果を、図11に気泡数および気泡径の分布を示す。凍結融解抵抗性に問題のあったN1-00については、空気量3%の場合で気泡間隔係数が377μmと大きく、また、気泡径も100μm以上の比較的大きな径の気泡が多い。また、空気量の多い6%の場合についても、気泡間隔係数が290μmと、比較的大きく、空気量の絶対量は十分あるものの、大きな径の気泡が多いため、凍結融解抵抗性が低下するものと考えられる。開発混和剤を無置換コンクリートに適用した場合に空気連行性が悪化することがわかったが、この原因については今後の課題である。

5 あとがき

本研究により得られた成果を以下に示す。

開発混和剤を適用すれば、カーボン量の多いフライアッシュを置換したコンクリートでも、一般的な混和剤の使用量程度で所定のフレッシュ性状を確保できる。

開発混和剤を使用したフライアッシュコンクリートの圧縮強度は、一般のものと同等の強度発現性を有している。

開発混和剤を使用したフライアッシュコンクリートの耐凍害性は、一般的な連行空気量との関係が成り立ち、適正な空気量を確保すれば、問題ない。

無置換コンクリートに開発混和剤を適用した場合は、凍結融解抵抗性が低下する。

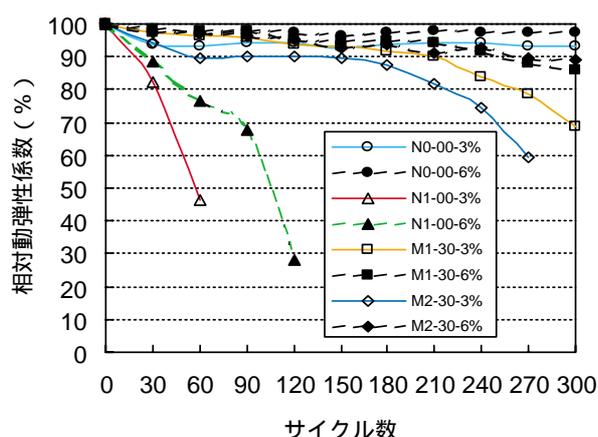


図10 凍結融解試験結果

表5 気泡間隔係数測定結果

| 配合名      | 気泡間隔係数 (μm) |
|----------|-------------|
| N0-00-3% | 263         |
| N0-00-6% | 213         |
| N1-00-3% | 377         |
| N1-00-6% | 290         |
| M1-30-3% | 281         |
| M1-30-6% | 184         |
| M2-30-3% | 398         |
| M2-30-6% | 243         |

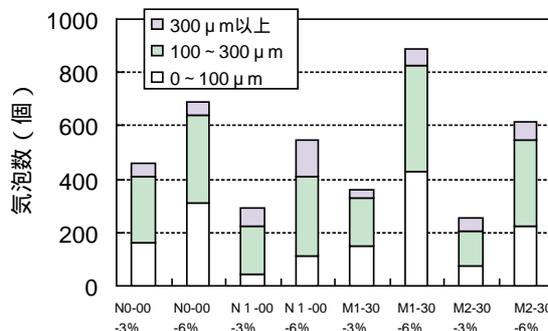


図11 気泡数および気泡径の分布

参考文献

- (1) 増田和機：フライアッシュの特性が高流動コンクリートのフレッシュ性状に及ぼす影響，フライアッシュコンクリートシンポジウム論文報告集，1997
- (2) 平野利光，畑元浩樹：石炭灰の利用（その2），土木学会 No.254，1994
- (3) 小林正凡：各種AE剤ならびに減水剤がコンクリートの諸性質に及ぼす影響について，セメント・コンクリートNo.249