

# 多種類の混和材料を用いたコンクリートの特性 (1)

## ——スラグ, フライアッシュと高性能減水剤——

Properties of Concrete Using Several Mineral and Cemical Admixtures

——Blast Furnace Slag, Fly Ash and Superplasticizer——

魚 本 健 人\*・大 下 健 二\*

Taketo UOMOTO and Kenji OHSHITA

### 1. は し が き

現在, コンクリートの諸性質を改善する目的で高炉スラグ微粉末, フライアッシュなどの混和材および高性能減水剤を用いた施工例が数多くあり, 水和発熱による温度ひびわれ抑制などに効果をあげているとされている<sup>1)</sup>. このようなセメントとの混合によって反応性を示す混和材を使用する場合には, 当然適切な混合範囲が存在し, 強度発現などの諸性状がセメント単独使用の場合とは異なる. したがって, 混合による悪影響の方から混合比を制限しなくてはならない. 混和材を一種類のみ使用する場合には, 高炉セメント, およびフライアッシュセメントなどの混合セメントの JIS 規格 (JIS R5211, 5213) により, 混合比に制限が設けられている. しかしながら, これらの範囲をこえた三成分系セメントに代表される多種類の混和材を併用した結合材に高性能減水剤を加えた超流動コンクリートなどが数多く使用されている<sup>2)</sup>. 今までに報告されている三成分系セメント等の混和材混合比は一定ではなく, またセメントに対する混和材の混合比は, おおのこの JIS と比較するとかなり高いにもかかわらず混合比による影響は十分には明らかにされていない.

そこで本研究では, 超流動化コンクリートに使用されている低水結合材比コンクリートにおいて高炉スラグ微粉末およびフライアッシュを併用する場合を対象として, これらの粉末を混合したペーストのフレッシュおよび硬化後の性状から混合比の影響を実験的に明らかにしたものである.

### 2. 実 験 概 要

#### 2.1 ペースト配合および練混ぜ方法

実験に用いた結合材は普通ポルトランドセメント (以下セメントと略す), 高炉スラグ微粉末 (以下スラグと略す) およびフライアッシュそれぞれの化学成分を表-1

\*東京大学生産技術研究所 第5部

に, またペースト配合を表-2に示す. ペースト配合は水結合材比25%, 減水剤はアミノスルホン酸系高強度配合用高性能減水剤を使用し, 減水剤の影響を小さくするために結合材に対する添加量は2.0%一定とした. 練混ぜ方法を図-1に示す. 練混ぜ方法はホバート型ミキサに結合材を投入した後, 60秒間空練りを行い, 水投入後300秒ごとに状態を目視にて確認し連続したペーストとなるまで混練した.

#### 2.2 結合材混合比

結合材混合比を図-2に示す. 結合材混合比は次のことを考慮して決定した.

- (1) スラグおよびフライアッシュは共にセメントの水和反応から生成するアルカリと反応する材料であり, 現行 JIS の高炉セメントおよびフライアッシュセメントの混合の限界比率内 (スラグ70%, フライアッシュ30%) においては混和材料のアルカリ消費量に対してセメントのアルカリ生成量はほぼ十分であると考えられる. したがって, 領域1の範囲内では混合比の影響は小さいと考えられる.
- (2) 混和材の量が極端に多過ぎる領域では混和材のみの特性が強くなり, 混合使用による反応に及ぼす影響は少ないと考えられる. (領域3)

そこで本研究は現在までに報告されている三成分セメントを使用した例<sup>3)~5)</sup>での混合比率を網羅し, またスラグおよびフライアッシュの混合比率が現行 JIS の限界比率を20%越える (スラグ90%, フライアッシュ50%) までの範囲を対象とする. (領域2)

なお, 本実験では領域2に属する図-2に示した13種類の結合材混合比率を選定した.

#### 2.3 試験項目

試験項目は以下の通りである.

練混ぜ直後 ○ペーストフロー試験: 上面直径70mm, 下面直径100mm, 高さ60mm のコーンを使用した.

硬 化 後 ○圧縮強度試験:  $\phi 5 \times 10$ cm の供試体

表1 材料の化学成分表

材料	化学成分値	比重	比表面積 (cm <sup>2</sup> /g)	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO <sub>3</sub> (%)
普通ポルトランドセメント		3.15	3300	21.5	5.3	3.0	64.8	1.6	2.0
高炉スラグ微粉末		2.89	6260	30.6	13.2	0.3	43.1	6.1	2.1
フライアッシュ		2.24	3060	56.7	27.9	2.8	5.1	1.2	1.0

表2 ペースト配分

W/P (%)	Ad*) (%/P)	*)アミノカルボン酸系 高強度配合用 高性能減水剤
25	2.0	

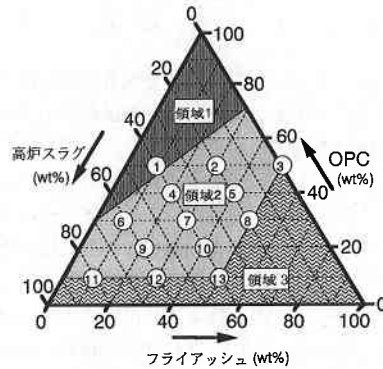


図2 結合材混合比

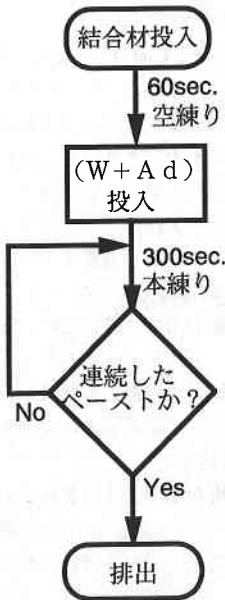


図1 練混ぜ方法

を成形し、環境温度20℃で封緘養生した後、材令7日および28日の測定を行った。

○水酸化カルシウム量：示差熱天秤で材令28日の供試体中のCa(OH)<sub>2</sub>量を測定した。

### 3. 試験結果

練時間300秒で混練可能であったペーストフロー値から得られた結果を図-3に示す。この結果よりペーストフローは、ほぼフライアッシュ量にのみ左右されている。また、練混ぜ時に連続したペーストとするために要した時間を図-4に示す。この結果においてもほぼフライアッシュ量に比例して練混ぜ時間は長くなることが明らかである。なお、この場合のフロー値は160mm～370mmの範囲であった。これらの結果から、本試験ではペーストの流動性はフライアッシュ量が支配的な要因であると考えられる。

圧縮強度試験結果を図-5(材令7日)および図-6(材令28日)に示す。いずれの結果からも以下の二点が注目される。

1) セメント量(以下C)がスラグ量(以下S)より大きい領域ではフライアッシュ量(以下F)が強度に対して支配的である傾向が認められる。また、CがSより小さい領域ではCが支配的である。

2) CがSと等しい混合比率において強度の変曲点が認められる。

材令28日硬化ペースト中のCa(OH)<sub>2</sub>量を図-7に示

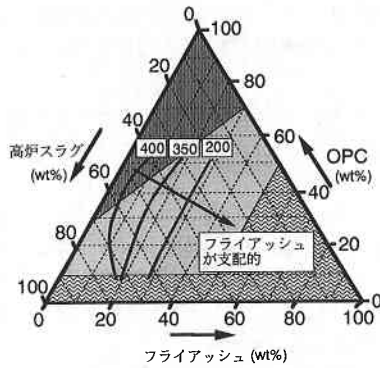


図 3 ベーストフロー (mm) 練り時間300sec.

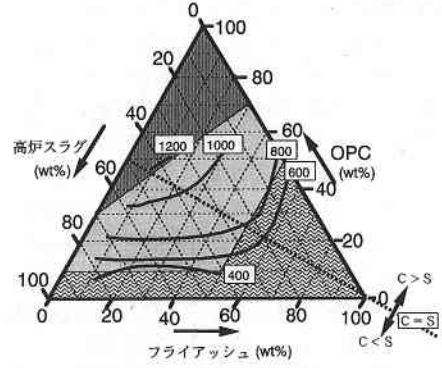


図 6 材令28日圧縮強度試験結果 (kgf/cm<sup>2</sup>)

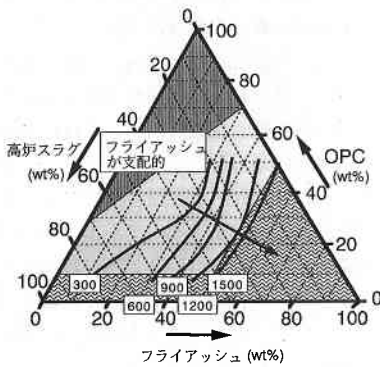


図 4 ベーストにする為に要する時間 (sec.)

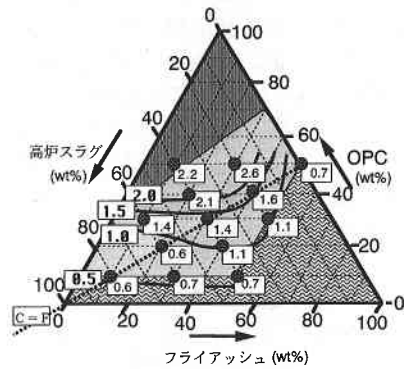


図 7 材令28日硬化ペースト中の Ca(OH)<sub>2</sub> 量 (%)

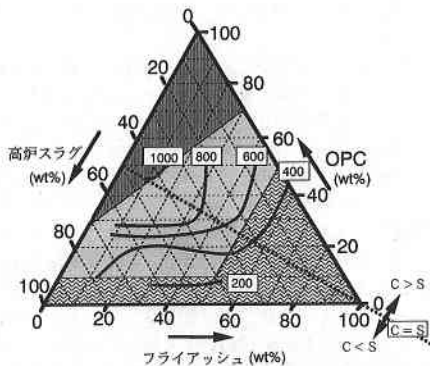


図 5 材令7日圧縮強度試験結果 (kgf/cm<sup>2</sup>)

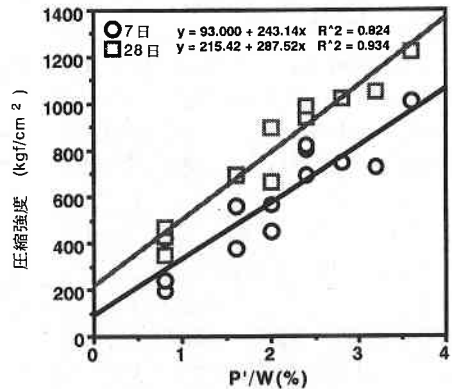


図 8 反応結合材水比と強度の関係

す。この結果において、Ca(OH)<sub>2</sub>量の場合にも、圧縮強度と完全には対応していないが同様な変曲点が認められた。また、セメント量とフライアッシュ量が等量でスラグ量のみが異なる C=F の図-8の直線上で比較すると、Ca(OH)<sub>2</sub>量はセメント量とほぼ対応するが、スラグが混入されていない C:S:F=50:0:50の混合比ではセメント量が最大であるにもかかわらず Ca(OH)<sub>2</sub>

量は極端に少なくなっている。この結果だけで原因を推察することはできないが、スラグが混合されるとフライアッシュの反応が抑制もしくは遅延されると推定される。

以上の結果を考慮し、強度に及ぼすペースト中の結合材の反応の影響について考察した。

CがSより大きい領域において、Fが増加するに従い

## 研 究 速 報

強度は低下しており、フライアッシュの強度に対する寄与は他の成分と比較して小さいことがわかる。したがって、強度に寄与する成分は、ほぼセメントとスラグであると考えられる。國分ら<sup>6)</sup>および佐藤ら<sup>7)</sup>は、断熱温度上昇量と高炉スラグ微粉末置換率との関係を調べ、置換率40%付近で極大値を示すことを明らかにしており、また石川ら<sup>8)</sup>は粉末度6000cm<sup>2</sup>/gのスラグを用いて同様な試験で50%付近に極大値を示すことを明らかにしている。これはスラグの置換率が大きすぎるとセメントからのアルカリ刺激作用が不足することにより反応が進まなくなることを示している。今回の実験結果においてもこれらの実験結果と同様にセメントをスラグで50%置換した場合、すなわちCとSが等量である場合に強度の変曲点が認められる。CがSより大きい領域ではセメントによるアルカリ刺激作用は十分であり、Cより小さい領域ではアルカリ刺激作用が不十分であると考えられる。そこでこれらのことを考慮して以下の仮定を設ける。

- 1) 混和材の混合によりセメントの水和反応および反応速度はほとんど変化しない。
- 2) スラグが反応するためには同等量以上のセメントが必要である。
- 3) 一定量のセメントまたはスラグが反応により発現する強度値はほぼ同等である。
- 4) フライアッシュは強度に寄与しない。

CがSより大きい領域ではスラグの全量が強度に寄与し、 $F=100-(C+S)$  であることから強度がFに対して支配的な傾向を示すことが説明できる。またCがSより小さい領域においてはCと同量のスラグが強度に寄与することとなり、スラグ量およびフライアッシュ量が違うにもかかわらずセメント量のみで強度が支配される結果となる。これらより、反応に寄与する結合材をP' とすると、

$$C \geq S \quad P' = C + S$$

$$C < S \quad P' = 2C$$

これをコンクリートに対して適用されているセメント水比と強度の関係に準じて、反応結合材水比と強度の関係として試験結果を図-8にプロットした。この図よりP'/Wと強度には明らかに相関が認められ、材令28日までの三成分混合による影響および強度則を反応に寄与する成分のみを指標にして、ある程度までは説明できる結果となった。

## 4. ま と め

高炉スラグとフライアッシュを併用したペーストの材令28日までの結果をまとめると、

- 1) 流動特性（ペーストフロー、練混ぜ時間）はフライアッシュ量が支配的でその割合が増大するほど悪くなる。
- 2) フライアッシュの強度に対する寄与はきわめて低い。
- 3) 強度特性はセメント量がスラグ量と等量の混合比率で変曲点が認められ、セメント量がスラグ量より大きい領域において強度はフライアッシュ量が支配的である。また、セメント量がスラグ量より小さい領域ではセメント量が支配的である。
- 4) スラグとフライアッシュの併用によりフライアッシュの反応性は低下する。
- 5) 多成分系のセメントの強度を反応に寄与する成分量を指標にすればある程度まで説明が可能である。

以上の結果は多種類の混和材料を併用する際に単純な混合則が成立しないことを示しており、混合比の影響を明らかにしなければフレッシュ状態と硬化後の特性に対してバランスの良い配合理論の構築は不可能であることを示唆しているものである。なお今後、反応に寄与していないと考えられる混和材が長期材令でどのように強度に関わるのか引き続き実験する。また多成分の混和材料を併用する場合に高性能減水剤などの混和剤が及ぼす影響についても明らかにする必要があると考えている。

(1992年12月4日受理)

## 参 考 文 献

- 1) 高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの設計施工指針(案), 土木学会コンクリート・ライブラリー第63号, pp4-8
- 2) 例えば, 十河・近松・金沢・古谷: 三成分系低発熱セメントを用いた高流動コンクリートの基礎的性質, コンクリート工学年次論文報告集14-1, pp33-38
- 3) 早川・松岡・山田・黒岩: 超流動コンクリートの打放し建築構造物への適用, コンクリート工学年次論文報告集, vol. 14, No 1, pp91-94
- 4) 濱園・生野・大矢・西山: ハイパフォーマンスコンクリートの実構造物における製造と品質管理, コンクリート工学年次論文報告集, vol. 14, No 1, pp39-44
- 5) 三浦・青木・芳賀: 高流動コンクリートのロット流下時間に及ぼす配合要因の影響に関する一考察, 土木学会第47回年次学術講演会講演概要集第5部, pp576-577
- 6) 國分・村田・高橋・安齋: 高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの断熱温度上昇と水和性状に関する研究, 土木学会論文集, 第396号/V-9, pp39-48
- 7) 佐藤・鈴木・原田・堀口・横田: 高炉スラグ微粉末がコンクリートの温度応力に及ぼす影響, セメント技術年報42, pp100-103
- 8) 石川・鯉淵・村上: 高炉スラグ微粉末のコンクリート用混和材への適用研究(その2), 1991年度日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 1003-1004