

# フライアッシュを混和材として用いたコンクリート

長谷川 登（電源開発）

## 1. 石炭と石炭灰

日本において発電用に消費される石炭は2006年度で約9,826万トン（うち電気事業が7,502万トン、一般産業が2,324万トン）で、この10年間でおよそ2倍に増えている（図1）。石炭を燃焼すると、質量で約1割が残さとして燃え残り、ボイラー内に残留したり、排煙と一緒にボイラー外に排出される。これが石炭灰で、発電による石炭灰の発生量は2006年度で約1,097万トン（うち電気事業が810万トン、一般産業が287万トン）で石炭使用量に対する石炭灰発生量は11.2%となっている（図2、図3）。図2に示す通り、石炭消費量の増加に伴い石炭灰発生量が増え続けているが、一方で、有効利用量も着実に増加しており、2006年度で約

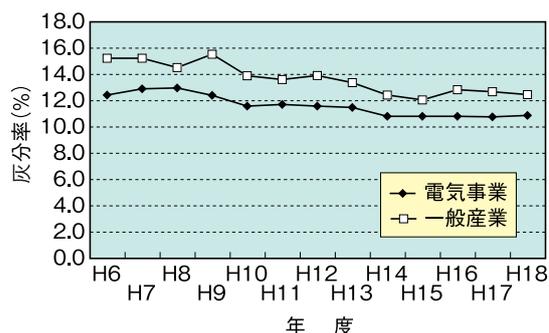


図3 石炭灰中の灰分(平均値)の推移<sup>1)</sup>

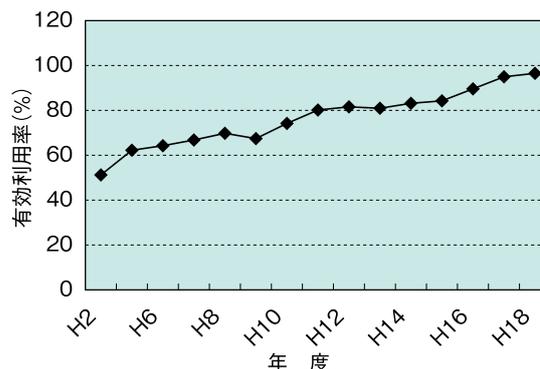


図4 石炭灰の有効利用率

1,065万トンと、発生量に対する有効利用率は全体で97%（電気事業96%、一般産業99%）となっている（図4）。

石炭灰は、発生元となる石炭の種類の違いにより差異は認められるが、主な化学成分は二酸化けい素（ $\text{SiO}_2$ ）と酸化アルミニウム（ $\text{Al}_2\text{O}_3$ ）が全体の7～8割を占め、物質的には山土に近い材料と見ることができる。ポズラン活性があり自硬性を有すること、土より軽いことなどの特性を持っているためセメント・コンクリート分野、土木・建築分野での利用が行われている。

## 2. 石炭灰とフライアッシュ

石炭灰は発生箇所により表1、図5のように分類される。クリンカはボイラー内に残った石炭灰がボイラーの炉底に落下したのを採取したもの、フライアッシュ

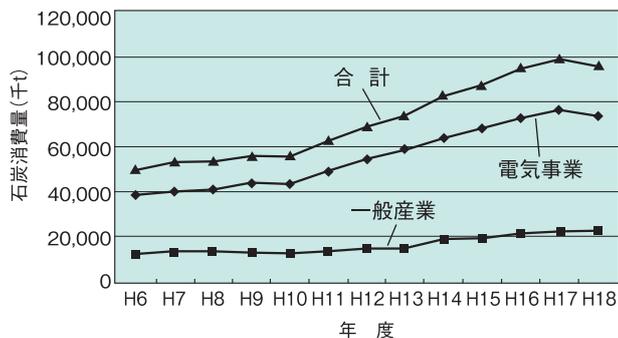


図1 石炭消費量の推移

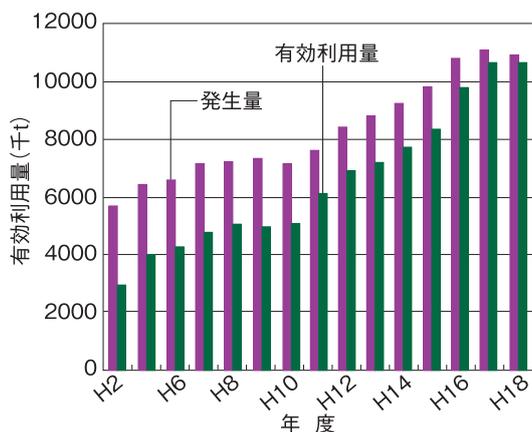


図2 石炭灰の発生量・有効利用量

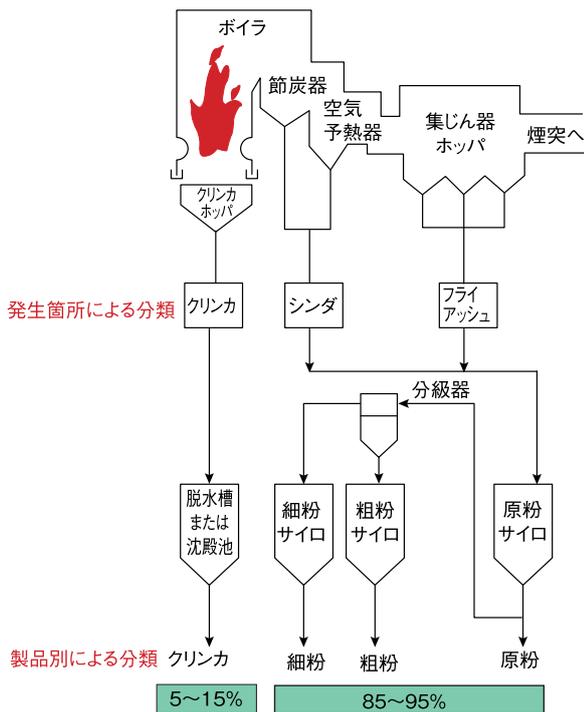


図5 石炭灰の発生工程

表1 石炭灰の分類（発生箇所による分類）

呼称	発生箇所
フライアッシュ	微粉炭燃焼ボイラの燃焼ガスから集じん器で採取された石炭灰
シンダ	微粉炭燃焼ボイラの燃焼ガスが空気予熱器・節炭器などを通過する際に落下採取された石炭灰
クリンカ	微粉炭燃焼ボイラの炉底に落下採取された石炭灰

表2 石炭灰の分類（製品別による分類）

製品	製品の種類別分類	備考
フライアッシュ	原粉…ボイラから発生したままのフライアッシュ	コンクリート用フライアッシュとして利用されるものでJIS規格ではI~IV種が規定されている
	細粉…集じん器の後段集じん区で回収したもの、或いは原粉を分級し粒度調整した細かいもの	
	粗粉…原粉を粒度調整した粗いもの	
クリンカ	粒度調整したものと粒度調整していないものがある	

●フライアッシュの特性

- 《形状》球形が多い
- 《密度》1.9~2.3g/cm<sup>3</sup>
- 《粒度分布》0.1mm以下が90%以上
- 《化学組成》SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>が70~80%

化学組成例

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO
フライアッシュ	40.1~74.4	15.7~35.2	1.4~17.5	0.2~7.4	0.3~10.1

ユはボイラーの排煙から集塵機で採取された石炭灰である。またシンダは排煙が空気予熱器・節炭器などを通過する際に落下採取された石炭灰である。

このうちコンクリート用混和材として利用されているのはフライアッシュである。フライアッシュは粒度分布で0.1mm以下の粒径が8割以上を占める微細な球形粒子の集まりであるため、混合するとコンクリートの流動性が著しく改善される等の特性を持っており（図6）、日本では1950年代にコンクリートへの利用が始まり、1958年にコンクリート用フライアッシュのJIS規格（JIS A 6201）が制定され、半世紀以上、コンクリート混和材として使用されている。

発電所からコンクリート用フライアッシュを出荷する場合には粒度分布を調整する場合がある。そのため明確な定義はないが、フライアッシュを表2、図5に示した3種類に分類することもある。

### 3. コンクリート用フライアッシュの製造方法

集塵機で捕集されるフライアッシュは微細な粒子であり、そのまま既にコンクリート混和材としての適性を持っているが、発生源となる石炭の種類や発電所の運転状況により品質が変動するので、様々な方法で品質調整・管理がなされている。

図5は分級機を用いた方法で、この方法では原粉サイロにためられたフライアッシュ（原粉）を、必要に応じて分級機に通して細かなもの（細粉）と粗いもの（粗粉）に分けて粒度調整し、製品として出荷している。分級には空気分級機や高性能分級機を用いる方法の他に、電気集塵機で段別収集する方法もある。更にブレンディングサイロを使用して、出荷品のばらつきを小さくして均質化することも行われている。

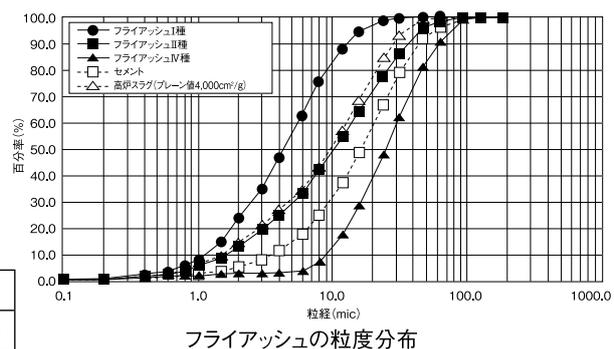


図6 フライアッシュの性状