

V-26 セメントを使わない高強度石炭灰固化体の開発

四国総合研究所 正会員 ○小林 修二
 四国電力株式会社 正会員 石井 光裕
 四国電力株式会社 正会員 岩原 廣彦
 四国電力株式会社 正会員 加地 貴

1. はじめに

現在、我が国の石炭火力発電所から発生する石炭灰の約 1/4 は埋立処分され、残る 3/4 程度はセメント・コンクリート分野を中心に有効利用されているが、灰捨場の確保が困難になる状況や、セメント需要の低迷などの状況から、新たな石炭灰の有効利用拡大技術の開発が喫緊の課題となっている。

このような中、石炭灰 (F)、高炉スラグ微粉末 (S) と二水石膏 (G) の、全てが産業副産物である原料を加水・練混ぜることで、一般のコンクリートに匹敵する高強度 (長期材齢において最高 60N/mm^2 以上) の固化体 (以下、「FSG 固化体」という。) を開発した。本稿では、FSG 固化体の物理・化学的な基本特性について報告する。

2. 石炭灰の品質と強度特性

FSG 固化体は、使用する石炭灰の物性・化学組成の影響を強く受ける。まず、石炭灰の物性の影響を明らかにするため (1)pH, (2)比表面積, (3)強熱減量がそれぞれ異なる場合の強度発現を概観する。

使用材料を表-1に示す。石炭灰は当社の西条発電所産の物性が異なる①～④の4種類であり、石膏は阿南発電所産の二水石膏、高炉スラグ微粉末は比表面積 $4,000\text{cm}^2/\text{g}$ クラスである。各粉体の混合比率は、予備試験で F, S, G の配合を変えて強度発現を調べた結果から、すべて $\text{F:S:G}=10:2:1$ (質量比) とし、加水量は粉体重量の 28% とした。供試体は、混合粉体に加水・練混ぜ後 $\phi 5 \times 10\text{cm}$ の円柱型枠内で 48 ～ 72 時間の初期養生を行い、脱型後はラップで密封の上、恒温・恒湿室 (室温 20°C 、湿度 60%) で試験材齢までの養生を行った。

(1)pHの違いと強度特性(図-1)

pH11.1 の石炭灰①を使用した場合、FSG 固化体の圧縮強度は材齢 91 日で約 60N/mm^2 と高強度であるのに対し、pH10.3 の石炭灰②を使用した場合の圧縮強度は、約半分の 31N/mm^2 であった。

(2)比表面積の違いと強度特性(図-2)

比表面積の大きい石炭灰①を使用した場合に比べ、比表面積の小さい石炭灰③を使用した場合の強度は低く、材齢 91 日で約 42N/mm^2 と 7 割程度の強度であった。

(3)強熱減量の違いと強度特性(図-3)

強熱減量の小さい石炭灰①を使用した場合に比べ、強熱

表-1 使用材料

材 料	物 性 等			
	密度 (g/cm^3)	比表面積 (cm^2/g)	強熱減量 (%)	pH
石炭灰① (Ⅱ種)	2.32	3,740	2.0	11.1
石炭灰② (Ⅱ種)	2.32	3,500	2.2	10.3
石炭灰④ (Ⅳ種)	2.20	1,820	1.5	11.6
石炭灰③ (Ⅲ種)	2.25	3,530	7.0	12.5
高炉スラグ微粉末	2.86	5,000	0.9	11.4
二水石膏	2.29	830	20.5	8.7

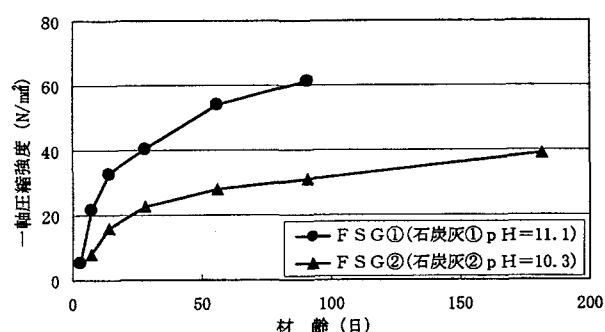


図-1 石炭灰の pH の違いによる強度特性

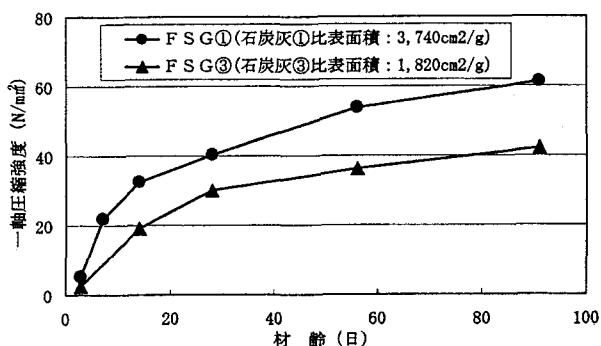


図-2 石炭灰の比表面積の違いによる強度特性

減量が大きい石炭灰④を使用した場合の強度は低く、材齢 91 日で約 33N/mm^2 であった。ただし、今回の試験では施工性を考慮し両者のフロー値を同等としたため、石炭灰④使用のケースは水粉体質量比が 38%と大きくなったことも強度発現が低い一因であると考えられる。

以上の結果をまとめると、

- ・ FSG 固化体の強度発現には、石炭灰の物性が大きく関与しており、特に pH の影響を大きく受ける。
- ・ 一般に、pH が高く、比表面積が大きく(灰が細かい)、強熱減量が小さい(未燃炭素分が少ない)石炭灰を使用した FSG 固化体は強度発現上は有利である。

3. 養生条件の違いが強度に及ぼす影響 (図-4)

同一石炭灰を使用し、同一配合で製造した FSG 固化体においても、養生条件によって強度発現に差が生じることが示唆されたため、下記の養生条件下での強度発現を試験した。なお、試験に使用した供試体および初期養生の方法は、前記 2. と同様である。

(1) 水中養生(真水, 海水)

脱型後、所定材齢まで 20°C の水中養生を行った FSG 固化体では、材齢とともに強度は増加し、良好な強度発現を示した。また、真水中と海水中での強度発現は、ほぼ同等であった。

(2) 気中養生(湿度3条件, CO_2 濃度2条件)

脱型後、所定材齢まで室温 20°C 、湿度 60%の恒温・恒湿室内ならびに室温 20°C 、湿度 94%または 35%の恒温・恒湿槽内にて養生を行った。湿度 94%の場合は 8 週を超えても強度が漸増するが、湿度 60%及び 35%の場合は材齢 2 週程度までは強度の増進が見られるが、その後は漸減する傾向を示した。

なお CO_2 濃度を 5%に高めた場合は、通常の空気中 (CO_2 濃度 0.3%) に比べて低強度であった。

(3) 水中→気中養生

所定日数の水中養生後、気中養生に変えた場合、養生条件の変更後、数日間は強度の増進が見られるが、その後は漸減傾向に転じた。その場合、水中養生の期間が短いほど強度発現は低く、長期的には気中養生時の強度に漸近する傾向が認められた。

以上の結果より、FSG 固化体は気中では強度が漸減する傾向にあり、これは CO_2 との接触の影響が考えられる。一方、水中においては、真水中でも海水中においても良好な強度発現を示すことが明らかになった。

4. まとめ

今回、当社がこれまで蓄積してきた石炭灰利用技術をベースに、さらに新しい着想のもと、セメントを全く使わない高強度石炭灰固化体 (FSG 固化体) を開発した。この FSG 固化体の研究開発において明らかになった物理・化学的な基本特性等についてまとめると、以下のとおりである。

- ① 石炭灰の品質、養生方法にもよるが、一軸圧縮強度で $30\sim 60\text{N/mm}^2$ と、コンクリートに匹敵する高い強度が得られる。
- ② 強度発現は原材料の石炭灰の pH、比表面積及び強熱減量の影響を受け、特に pH の影響が大きい。
- ③ 強度発現は養生条件の影響を受け、気中養生では強度の漸減傾向が認められたが、水中養生では良好な強度発現を示す。

これらの FSG 固化体の特徴を踏まえ、今後、実用化に向けた検討を進めていくこととしている。

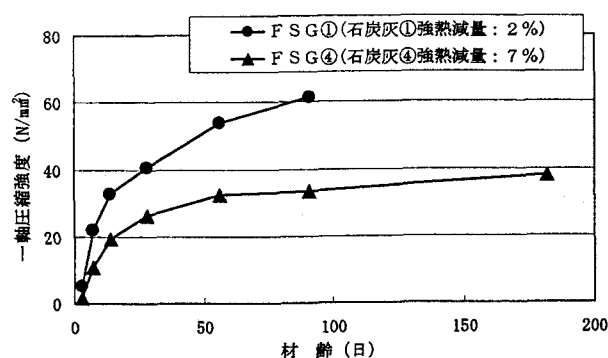


図-3 石炭灰の強熱減量の違いによる強度特性

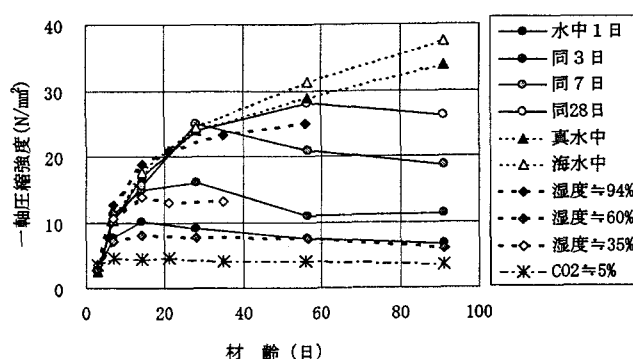


図-4 養生条件の違いによる強度特性