

近畿大学 正員 川 東 龍 夫
近畿大学 正員 玉 井 元 治

1. まえがき

シリカフェーム (以下 SF) をセメントへ混入すると、強度発現効果のあることは、これまでの報告¹⁾ によって知られている。この効果は、SF 中の SiO_2 と、セメントの水和によって生成される $\text{Ca}(\text{OH})_2$ とのポズラン反応によるところが大きいようであり、シリカセメントあるいはフライアッシュセメントの特性に類似している。

本報告は、主として SF- $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 系ペーストおよびモルタルの強度試験ならびに X 線回折試験を行うことにより、SF と $\text{Ca}(\text{OH})_2$ のポズラン反応を検討したものである。

2. 実験概要

表-1 使用材料

使用材料を表-1 に示す。SF 混入セメントモルタル (以下 SF-CM) の配合は、JIS R 5201 にしたがって、(セメント+SF):標準砂=1:2、 $W/(C+SF)=0.65$ 、 $SF/(C+SF)=0.1, 0.15, 0.2$ および 0.25 の各重量比とした。SF- $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ペースト (SF-CAP) は、 $SF/CA=0.37, 0.59, 0.83$ 、および 1.11 とし、モルタルは、 $(CA+SF):標準砂=1:2$ に配合した。

セメント	普通ポルトランドセメント
シリカフェーム	国内産 O 社製
高性能減水剤	β -ナフタリンスルホン酸ホルミン縮合物
$\text{Ca}(\text{OH})_2$	W 社製 試薬
細骨材	豊浦標準砂

SF-CM は、水量を一定としているため、SF の混入量に反比例してフロー値が減少する。したがって、所定のフロー値 (本実験においては 230 ± 10) を得るように高性能減水剤を添加した。(図-1)

SF-CAP および SF-CAM については、高性能減水剤を無添加とし所定のフロー値を得るため水量を変化させた。強度試験方法は、各試料とも JIS に準じて行った。

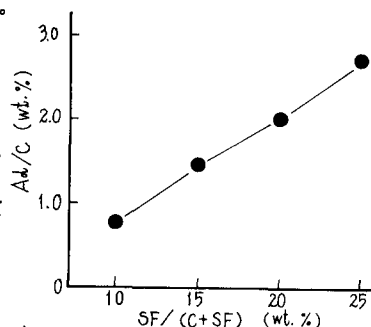


図-1 シリカフェーム混入率と高性能減水剤添加量

SF-CAP 系の X 線回折は、所定日数経過後乾燥させたものを測定試料とした。試験は粉末 X 線回折測定装置を用いて行い、測定条件は $\text{Cu K}\alpha$ 、40 kV 100 mA、スリット系 $\phi-\phi-0.15 \text{ mm}$ とした。

3. 実験結果と考察

2. の図-1 にも示したように、C への SF の混入はフロー値を低減する。このため、SF 混入量の増加にしたがって高性能減水剤添加量も大きくしなければ所定のフロー値は得られない。この事は、C に比較して SF が極めて微粒であるため、一般に SF の比表面積は C の 50 倍以上であることからわかる。フロー試験結果における SF 混入量と高性能減水剤量は、ほぼ直線関係にあり、通常添加量の数倍を必要とするようである。

SF-CM の強度試験結果によれば、SF 混入モルタルは全体的に、SF 無混入に比べて検査 14~28 日迄の強度の伸びが顕著であり、28~56 日迄の強度の増加率も大きいようである。SF 混入率の影響としては、各混入率とも、SF=0% を数パーセント下まわる強度結果の場合を除き全体的にそれ以上の結果を得ている。こうした結果は、置換された SF が減量された C に代替してその強度発現に寄与しているようであり、C の水和により生成される $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (CA) と SF 中の SiO_2 とのポズラン反応の影響によるものと考えられる。この SF-CA ポズラン反応機構のみによる強度発現傾向を調査したものが図-2~図-3 である。CA 量は、C の水和により析出される総量として本試験では $C \times 0.3$ 、また SF 量は $C \times (0.1 \sim 0.25)$ としている。

図-2 は SF-CAP の検査変化による圧縮強度試験結果を示したものであるが、強度は全体的に低いものの、材

令ク日に対する14日および28日の強度増加は大きく、SF-CA系のポズラン反応が長期にわたって進行していることを示すようである。また、SFCA_Mの圧縮強度試験結果によれば、図-2にみられたような強度増加傾向は、SFの混入率の差によってより明瞭にわかれており、SFのポズラン反応が強度増加に寄与する程度の差がわかるようである。(図-3) 材令28日のSF混入率に対する強度結果によれば、SFCA_Pの場合、SF混入率20%が他の配合比より大きい値となった。SFCA_Mの場合は、各材令ともSF混入率の増加と強度発現はほぼ比例しているようである。

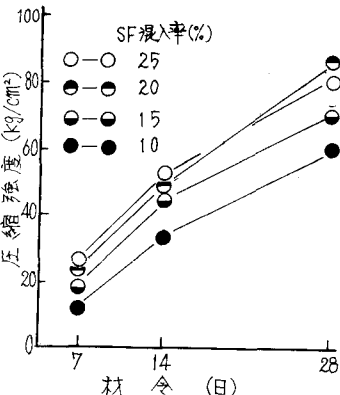


図-2 シリカフューム-Ca(OH)₂ペーストの圧縮強度

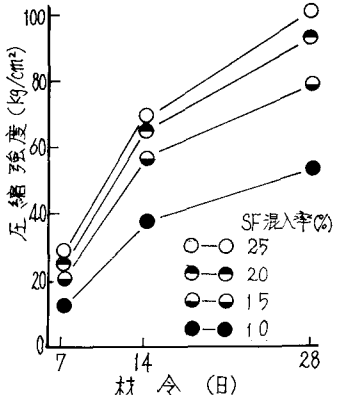


図-3 シリカフューム-Ca(OH)₂モルタルの圧縮強度

次にCAの減衰状態を調査するため、SFとCAの各配合の所定量を乾燥混合したX線回折結果による各ピーク強度で、対応する水和試料のピーク強度を除いた値を表-2に示す。CAのピークは $2\theta=18.084^\circ$ ($d=4.899\text{\AA}$)をはじめとして7ピークの存在が認められるが、ここではピーク強度の大きい $2\theta=18^\circ$ および $2\theta=34^\circ$ について示している。この結果によれば、同一材令においてSFの混入率が大きい程CAの値は小さくなり、同一配合においては材令の進行とともにCAが減衰している。X線回折図にはCaCO₃の存在も認められCAのCaCO₃への変化量も考慮する必要があるが、CAの減衰はSF量に比例して大きくなるようであり、SF量の相違によるCAとの反応進行状態が定性的にわかる。

表-2 SF-CA系の水和におけるCAの減衰状態

SF/CA (%)	乾燥混合によるCAのピーク強度 (cps)		材令3日		7日		14日	
	A	B	A	B	A	B	A	B
10	4099	5584	0.713	0.771	0.424	0.457	0.170	0.174
15	3764	5160	0.694	0.721	0.328	0.349	0.124	0.117
20	3348	4245	0.637	0.716	0.229	0.216	—	—
25	3169	4146	0.496	0.475	0.118	0.086	—	—

CA: Ca(OH)₂ , A: $2\theta=18^\circ$ B: $2\theta=34^\circ$

SF-CA反応による水和生成物は、セメントの水和により生成される $1\text{CaO}-m\text{SiO}_2-n\text{H}_2\text{O}$ 系の結晶形態と類似しているものと考えられる。図-4は、材令14日のSFCA_P供試体より採取した試料のX線回折試験結果である。CAの存在は認められるもののCaCO₃は殆どなく、 $2\theta=29.4^\circ$ 付近のピークは上記 $1\text{C}-m\text{S}-n\text{H}$ 系生成物と考えられる。この回折角に最高強度で検出される結晶系としては $2\text{C}-\text{S}-0.35\text{H}$ あるいは $2\text{C}-\text{S}-\text{H}$ などが推定できる。また、SF混入量の増加にしたがってこのピーク強度も大きくなるようである。

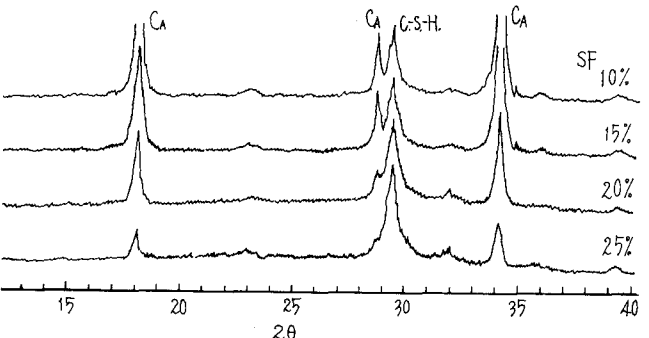


図-4 材令14日のSFCA_P圧縮供試体試料のX線回折図

以上から、SF-CA系におけるCAの減衰と水和生成物の生成状況の調査と強度試験を行うことにより、その相関性およびポズラン反応の進行状態が推定できるものと考えられる。

本実験を行うにあたり、SF試料のご提供をいただいた立命館大学 高木 宣章先生に心より感謝するとともに、ご協力をいただいた近畿大学卒業生、西岡 悟、西山 猛、阿口 稔の各氏に感謝します。

(参考文献) 1) たとえば、高木、明夫:シリカフュームを混入したコンクリートの特性について、第6回コンクリート工学技術講演会論集, pp117~120, 1984