

論文

[1076] CFRC製面状発熱体の発熱特性に関する実験的研究

正会員○片平富二夫（住友金属工業）

計 和弘（住友金属工業）

1. はじめに

炭素繊維（CF）はガラス繊維や有機合成繊維と異なり、電気を通す性質があるため、CFを混入した複合材は導電材料となり、通電することにより発熱する。また、CFと同じく導電性を有する粉体カーボンブラック（CB）を混入することによっても、複合材は導電材料となる。

これらの材料を用いてセメント系複合材を成形する方法としては、注型法、押出法、抄造法があるが、注型法ではCFが均一分散しにくく、また3次元配向となること、押出法では材料の練込みあるいは成形時に受けるせん断力等により、CFが折損することが問題となる。これらの結果として、発熱効率の低下、発熱量の板内ばらつきの増加等を引き起こすことになる。一方、抄造法では材料が水分リッチの状態状態で混合され、これらを薄いシート状に抄き上げ、積層するためCFの折損が少なく、かつCFも2次元配向するため、注型法、押出法に比較して、発熱効率も高く、板内ばらつきも低減できるため、最も適した成形法と言える。

ここでは、CFおよびCBの混入量をパラメータとして、抄造法により成形したセメント系複合材（CFRC）の発熱特性を実験的に明らかにしたので報告する。

2. 実験内容

2.1 供試体の製造

供試体は丸網抄造機により成形した。丸網抄造機の概略を図-1に示す。この装置は石綿スレートの製造に用いられるもので、約0.2mmのシート状に抄き上げた材料を積層して巻き取り、最終的に5~10mmの平板に成形するものである。なお、丸網抄造機は従来の石綿スレート用の機械の材料攪拌槽における攪拌力を高める改造をした。すなわち、CFあるいはCBはセメントや硅砂等の骨材と比較して、比重差が大きいため、攪拌槽内での材料分離が起こり易く、これを防止するため攪拌力向上の改造を実施した。

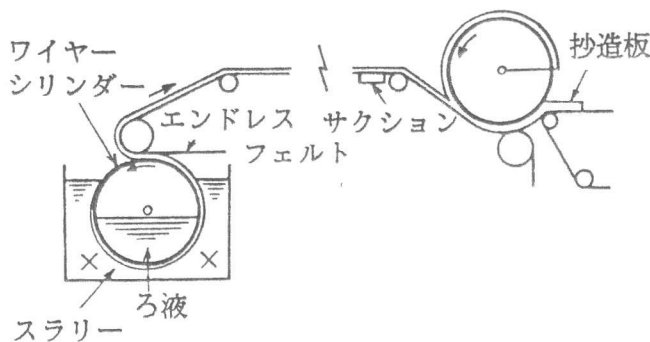


図-1 丸網抄造機の概略

表-1 供試材料の諸元

種類	諸物性
炭素繊維	ビッチ系、直径18 μ m、長さ3、6、10mm
カーボンブラック	よう素吸着量83mg/g、吸油量126ml/100g
ハルブ繊維	針葉樹クラフトハルブ
セメント	普通ポルトランドセメント
微粉硅砂	平均粒径28 μ m

本実験で供試した材料の諸元を表-1に、CFおよびCBの配合条件を表-2に示す。実験AではCF長さの影響を、実験BではCF混入量の影響を、実験CではCB混入量の影響を調査した。なお、実験B、Cでは実験Aで最も発熱効果の大きい長さのCFを使用することとした。

まず、セメント、微粉硅砂に成形性向上のためのパルプ繊維と導電性確保のためのCF、CBを加え、全固形分重量の10倍の水によりスラリー状となし、抄造機により $900^L \times 400^W \times 5^t$ mmの平板を成形した。供試板の製作枚数は1バッチ当り約40枚である。

これらの成形生板は気中に約1日放置した後、 $180^\circ\text{C} \times 5\text{H}$ のオートクレーブ養生を実施した。

2.2 通電実験方法

硬化後の平板を $595^L \times 390^W \times 5^t$ mmに切断し、通電実験に供試した。供試体の両端部に電極として 0.3^t mmの銅板を導電性樹脂で貼付け、100 Vの交流電圧を印加し、5分後の電流値を測定した。通電実験状況を図-2に示す。

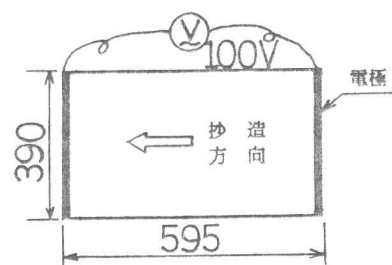


図-2 通電試験方法

3. 実験結果および考察

3.1 発熱状況

(1) 電流値と上昇温度の経時変化

長さが6mmのCFを1.2wt%、CBを1.5wt%混入した供試体に通電したときの電流値と供試体の表面中央の温度の経時変化を図-3に示す。電流値は通電直後に安定時の約70%を示し、5分後には90%に達することが確認できた。一方、表面温度は通電後2時間までは比例的に上昇し、それ以後、温度勾配が緩やかとなり、通電5時間後に安定することが判明した。以上の知見を基に、本論文での以後の考察では、通電5分後の電流値により、発熱状況の指標とした。なお、板内の表面温度ばらつきは上昇温度の約20%であった。

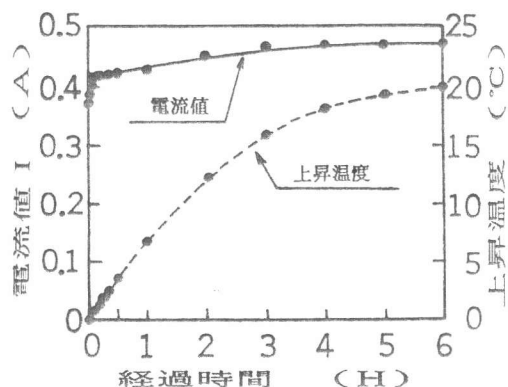


図-3 電流値と上昇温度の経時変化

(2) 抄造バッチ内での電流値の変動

抄造法では材料の供給が一定であれば得られる成形板の性能も安定することが推察されるが、本実験では、バッチ処理のため、材料の供給を一定に保てないため、成形板の性能が変動すると考えられる。

図-4は長さが6mmのCFを1.2wt%、CBを1.5wt%混入した供試体の1バッチ(41枚)内の電流値の変動状況を示したものである。なお、同図中には、供試体の総炭素量の分析値も合わせて示す。総炭素量に含まれる材料としてはCF、CBの他にパルプ繊維と微量の凝集剤である。図より、電流値は製造初期にはばらつきが大きく、約7体目から安定するが、最後の10枚程度は電流値が低下傾向にあることが判明した。同様に、総炭素量の分析値も成形の後半は低下してい

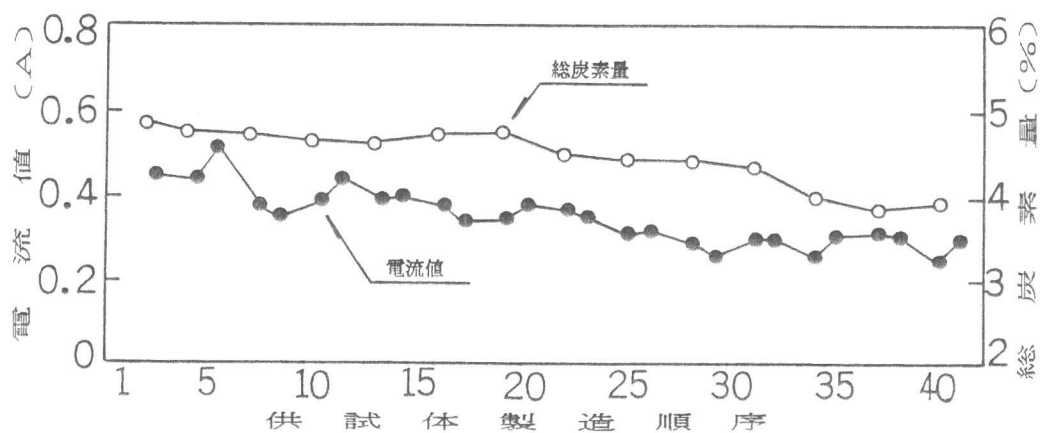


図-4 抄造バッチ内での電流値と総炭素量の変動

ることより、比重の軽いCF、CBはセメント、骨材よりも抄き上げられ易く、抄造後半ではCF、CBの混入量が所定量よりも減少し、電流値低下を引き起こしたと考えられる。以上より、本実験では電流値が比較的安定する10~20体目より8体を選択し、評価した。

3. 2 発熱特性に及ぼすCF長さの影響

(1) CF長さと電流値との関係

図-5にCF長さの影響を調査した実験Aの結果をまとめて示す。図より、CBの混入有無にかかわらず、公称長さが6mmのCFを用いた供試体の電流値が最も高い。これは、長さが短い場合、CFが他のCFあるいはCBと接触しにくくなり、複合材の抵抗値が大きくなったこと、長い場合は、CFの均一分散が不十分となり、CFの導電効果が減少したことによると考えられる。

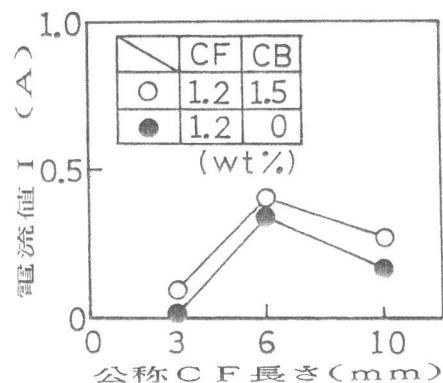


図-5 CF長さの影響

(2) CFの長さ度数分布
CF混入量が1.2wt%でCBを混入しない配合の成形直後の材料より、CFを洗い出し、長さを0.5mmピッチで約300本測定した長さ度数分布を図-6に示す。CFは抄造法においても、成形工程時に折損し、初期長さが10mmのCFでも4mm以下が約50%存在することが判る。なお、長さが長いほど1本当たりの体積が大きいことより、混入量で表現したものが図-7である。図より、最も発熱効果の高い公称長さが6mmのCFは他のCFと比較して5~7mmの存在比が著しく高いことより、発熱効果の観点からはこの範囲のCFを多くすることが有効なことが判明した。

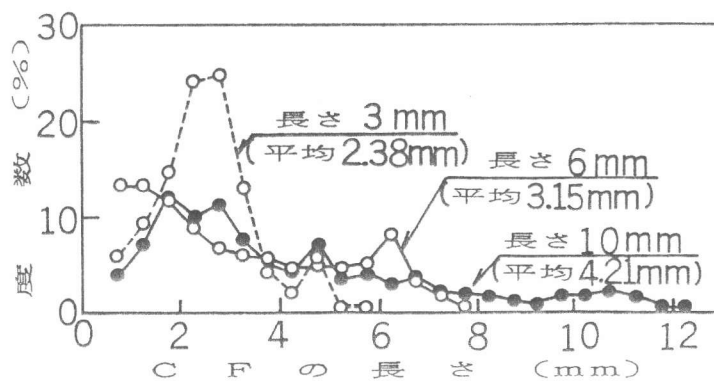


図-6 CFの長さ度数分布

3. 3 発熱特性に及ぼすCF混入量の影響
図-8にCF混入量の影響を調査した実験Bの結果を示す。図より、CF混入量が0.6wt%以

上であれば、混入量が多いほど電流値が比例的に増加することが判る。この電流値 I と CF の混入量 W_{CF} との関係は次式で与えられる。

$$I = 0.76W_{CF} - 0.47 \quad (1)$$

また、図-8中に測定値のばらつきを示すが、 CF 混入量が多いほど、電流値ばらつきが大きくなることが判る。

3.4 発熱特性に及ぼす CB 混入量の影響

図-9に CB 混入量の影響を調査した実験 C の結果を示す。 CB 混入量が $1.5wt\%$ 以下では発熱効果が認められず、この値を超えれば CB 混入量が多いほど比例的に電流値が増加し、それらの関係は次式で与えられる。

$$I = 0.12W_{CB} - 0.10 \quad (CF = 0.6wt\%) \quad (2)$$

$$I = 0.20W_{CB} + 0.10 \quad (CF = 1.2wt\%) \quad (3)$$

(2)、(3)式より明らかなように、 CF 混入量が多いほど、 CB の混入による発熱効果が高くなるのは、 CF が多いほど、 CB は CF と接触する確率が高くなり、より効果的に働いたと考えられる。また、 CF と比較して CB の発熱効果は $1/4 \sim 1/6$ となることが判明した。電流値ばらつきは、 CB 混入量が多いほど大きくなるが、その程度は CF に比較して小さくなることが判る。

4. 結言

CF および CB を混入したセメント系複合材の発熱特性を実験的に検討し、以下の知見を得た。

- (1) 長さが $6mm$ の CF を混入した場合が最も発熱効果が高い。
- (2) CF 、 CB とも混入量が多いほど比例的に発熱効果が高くなるが、その効果は CF の方が高い。
- (3) 発熱ばらつきは CF 、 CB とも混入量が多いほど大きくなるが、その程度は CB の方が小さい。

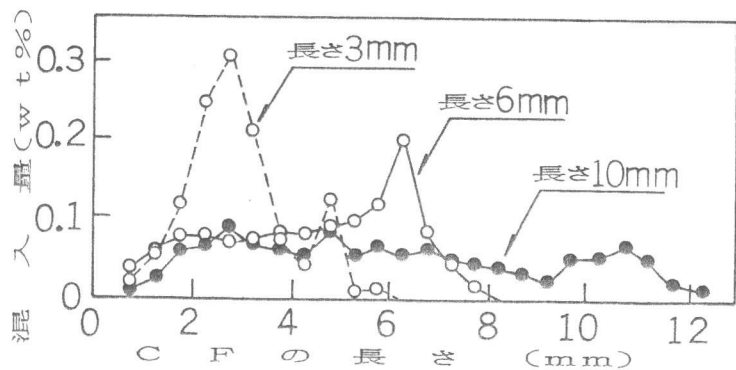


図-7 長さ別 CF の混入量分布

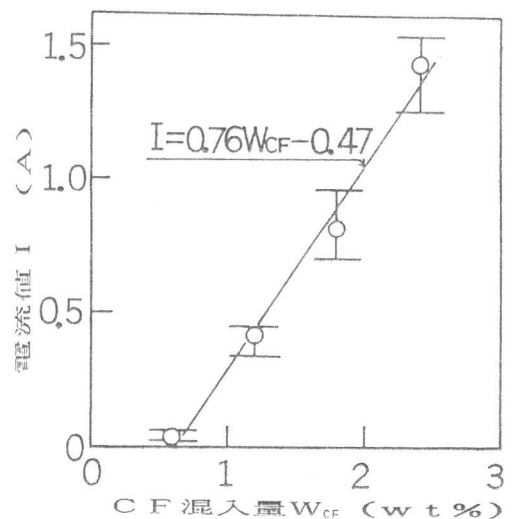


図-8 CF 混入量の影響

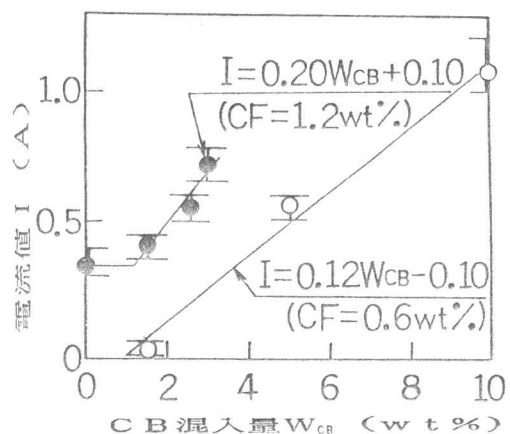


図-9 CB 混入量の影響