

Easy-break Concrete における マイクロ波照射による炭素繊維加熱特性

京橋工業(株)
神戸大学
産総研

○並木宏徳 立命館大学 日下貴之
竹野裕正 産総研 ト部 啓
緒方雄二 京橋工業(株) 大野一樹

1 緒 言

Easy-break Concrete とは供用時には通常の強度を有しオンデマンドで容易に破砕可能な特性を持つようなコンクリートである。従来の研究では膨張性フィラーを用いて比較的破砕容易な無筋コンクリート構造物を対象としてきた¹⁾²⁾が、ここでは鉄筋コンクリートや高強度コンクリートといった破砕が困難なコンクリート構造物をも破砕可能とするような強力な爆発性フィラーを多数コンクリート中に混入した形態の **Easy-break Concrete** を扱っている。爆発性フィラーはマイクロ波照射により微小爆発（マルチ・マイクロエクスプロージョン, MM と呼ぶ）を起こしコンクリートを破砕する。従来行われた試み³⁾では起爆に必要なマイクロ波の電界強度が大きく実用的ではなかった。そこで本研究では複雑な電気回路が不要でかつ高性能なマイクロ波アンテナ起爆装置の開発を試みた。

2 起爆用アンテナ

雷管をマイクロ波照射により点火しようとする試み³⁾は既になされており金属性ダイポールアンテナと白金・イリジウム合金の発熱体を用いて鋭敏な DDNP/アエロゾルの点火薬に埋め込んだ特殊雷管を用いて推定マイクロ波電界強度 $0.25 \text{ W/cm}^2 (2.45 \text{ GHz})$ で点火に成功している。

本研究では炭素繊維を用いることにより実用化レベルの高性能アンテナの開発を目指した。マイクロ波照射による発熱のメカニズムは複雑であり電界中に置かれた負荷抵抗により発生する磁界により起こる位相変化による作用が大きいといわれている。炭素繊維は極細であるので電気抵抗が大でありかつ熱容量が小であるなどの条件がアンテナ材料として最適であると考えられた。

実験は簡易電磁遮蔽されたチャンバー内で Fig.1 のようにマイクロ波発振器(2.45GHz)から導波管およびホーンアンテナを経てターゲット材料を照射して行った。アンテナの性能評価は赤外線サーモグラフィによる温度計測および爆発性フィラーとして黒色火薬を用いた点火実験により行った。

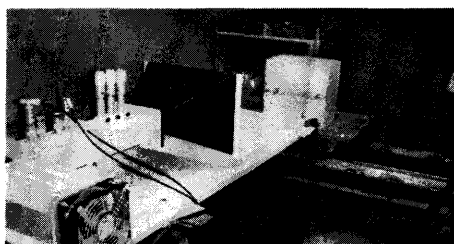


Fig.1 Micro-wave irradiation in radio shielded chamber

2.1 炭素繊維太さ Fig.2は東レ高性能炭素繊維トレカ T700S を用いて繊維太さを変えた試験体で左端が原糸で 12,000 フィラメントから構成されていて、それを右端の 128 分割(94 フィラメント)まで次々と 2 分割したターゲットを製作してサーモグラフィ波形を求めたものである。更に細い極細の 50 フィラメント以下では発熱せず、100 から 200 フィラメントの炭素繊維の加熱特性が良いことが判った。

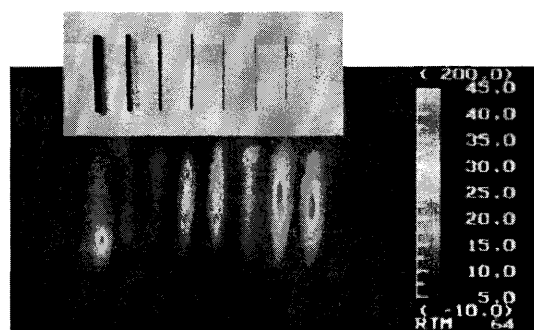


Fig.2 Temperature of different numbers of carbon fiber filaments under micro-wave irradiation

2.2 炭素繊維長さ Fig.3は同じく東レ高性能炭素繊維トレカ T700S を用いて繊維長さを 1cm から 1cm 刻みで長くした試験体をマイクロ波照射した時のサーモグラフィ画像である。炭素繊維長さ中央付近が最も高温になり、ここで用いたマイクロ波の半波長が 6.1cm であるが、それよりやや短い長さの 5cm および 6cm の試験体が高い温度を示した。

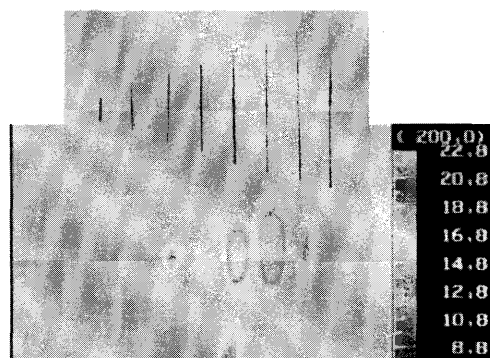


Fig.3 Temperature of different length of carbon fiber filaments under micro-wave irradiation

2.3 アンテナの指向性 マイクロ波は偏波であり炭素繊維アンテナの方向と電界方向が一致した時に効率が良いと考え

られる。アンテナの方向が傾斜した時の回転角依存性を黒色火薬への点火性能で評価する実験を行った。

マイクロ波照射方向垂直面内でアンテナを回転させての黒色火薬着火実験の結果を Fig.4 に示す。図中に理論線で示すのは、着火に必要な電力 W をアンテナの電界方向長さの2乗に反比例するとした $W = C/\cos^2 \theta$ の関係である。実験結果はアンテナ長さをパラメータとして示されているが、各長さにおいてこの関係は概ね成立する。ただし C の値はアンテナの共振特性に依存するからそれぞれの長さにより大きく異なる値をとる。なお、ここに示していないが、照射方向面内における回転においても同様な結果が得られた。

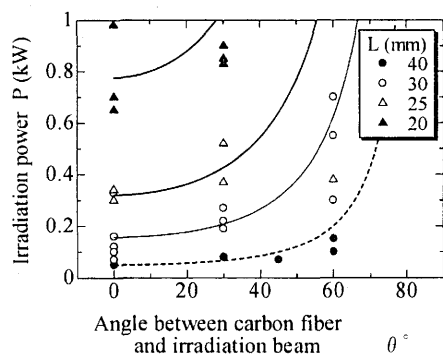


Fig.4 Needed power to ignite fireworks under micro-wave irradiation

2.4 アンテナの電界集中 マイクロ波照射された棒状物体は端部でも電界集中を起こす⁴⁾。これまでの実験において炭素繊維長さの中央部温度が最高温度となる試験体が多かったが端部が高温となるものも稀に見られている。炭素繊維を接触させて接触点でスパークさせると更に高温が得られると考えて繊維の接触状態を変えて観測を行った所、Fig.5のサーモグラフィ画像の中央下の点のように接触点が輝点となって激しい発熱を起こすケースがあることを見出した。この点の顕

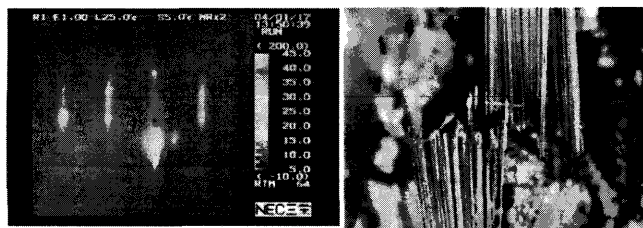


Fig.5 Brilliant point appeared at a point of contact and its micrograph

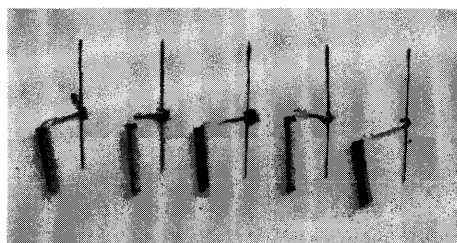


Fig.6 Ignite fireworks at a point of contact on carbon fiber antenna

微鏡写真が右側に示されているが接触が炭素繊維全断面ではなく一部分となっており、この部分が激しいスパークを起こしたものであると推定された。

火薬の点火実験を Fig.6 のように炭素繊維アンテナの接触点に導火線を接触させて行った。起爆に必要なマイクロ波出力は接触点の炭素繊維の接触状態によって大きく変わるが、 $0.031\text{W}/\text{cm}^2$ という従来の約 $1/8$ の電力で起爆に成功し、実用化が可能であることが示された。

3. マイクロ波照射による起爆

実際にマイクロ波照射によりコンクリート中の爆発性フィラーに着火してマイクロエクスプロージョンを起こすことが可能であることを確認する実験を行った。Fig.7はコンクリート中の爆薬量 0.07g の火薬カプセルをマイクロ波照射により爆発させた瞬間である。爆破は微小領域に留まり、簡単な防護で十分安全にコンクリートを爆破可能であることを立証することができたと考えている。



Fig.7 Micro-explosion by infilled explosive coupcell

4. おわりに

マイクロ波照射により導火線を用いることなく離れた位置から爆発性フィラーに点火することが炭素製アンテナを用いることにより可能となることが示され、Easy-break Concrete の適用範囲を広げることができた。

謝辞 この研究は、日本材料学会複合材料部門委員会「寿命制御コンクリートワーキンググループ」の委員の方々にアドバイザーとして、経済産業省「地域新生コンソーシアム研究開発事業」として実施された。関係各位に深甚の謝意を表す。

参考文献

- 1) 日下貴之, 並木宏徳, 堀川教世, 北條正樹, コンクリート構造物の補修補強アップグレードシンポジウム論文報告集, 393(2003).
- 2) N. Horikawa, T. Kusaka, H. Namiki, K. Urabe, Y. Tada, H. T akeno, N. Takagi, M. Sakane, M. Hojo, International Conference on Advanced Technology in Experimental Mechanics, (2003).
- 3) 中原正二外4名, 特許公開平7-280497 「マイクロ波起爆用雷管の構造」.
- 4) 田中準史, 切山勇介, 西尾英剛, 中本聡, 竹野裕正, 大澤靖治, 並木宏徳, 放電研究会資料, ED-03-251(2003).