

京橋工業株式会社 正員 ○並木宏徳 立命館大学理工学部 非会員 日下貴之
 NEDO(新エネルギー・産業技術総合開発機構) 正員 堀川教世 立命館大学理工学部 会員 高木宜章
 ケイコン株式会社 非会員 衣川直紀 明星大学理工学部 正員 鈴木博之

1. はじめに

寿命制御スマートコンクリートをリサイクル社会構築のためのデバイスの1つと考え、無騒音・無振動で容易に破碎可能なコンクリート(Easy-break Concrete)を提案している¹⁾²⁾。ここでは再生PET樹脂製のフィラーを混入してマイクロ波照射加熱することによりフィラーとマトリックスとの熱膨張量差により破碎することを試みた。

2. マイクロ波照射加熱による破碎実験

マイクロ波加熱に用いたのは、低リップル型マイクロ波電源装置を備えた写真1に示すような最大出力 1.5kW (CW およびパルス型) の 2.45GHz 連続波マグネトロン (2M164) の出力側に反射波アイソレーターを備えた装置である。実験は全て電磁遮蔽したチャンバー内で行った。

PET 樹脂フィラーによる破碎力は、フィラー体積、加熱温度および温度差に依存する。亀裂の形状・寸法は破碎力とコンクリートの拘束力すなわち、強度とコンクリートの形状寸法およびフィラーの空間的位置関係に依存する。これらの要素を考慮した破壊力学的解析が著者の一人により行われているが³⁾、ここでは現象の記述にとどめる。

実験に用いた PET 樹脂フィラーは立方体で一边の長さが 50mm、30mm および 20mm の 3 種類、コンクリート試験体は呼び強度 24MPa と 40MPa の 2 種類の普通コンクリートを用い一边の長さが 50cm、30cm および 20cm の 3 種類の立方体試験体を製作した。

写真2は樹脂フィラーサイズが最大の 50mm 角のフィラーを入れてマイクロ波加熱した 30cm 角試験体で、別に行った温度計測用試験体のデータから推定した値では、照射面の表面最高温度約 120℃、樹脂フィラー付近温度約 70℃に加熱されてクラックが発生した例である。

樹脂フィラーが小さくなる、もしくは試験体サイズが大きくなるとマイクロ波加熱してもクラックが発生しなくなり、またコンクリート強度が大であっても同様であった。

写真3は呼び強度 24MPa のコンクリートの表面近くにある樹脂フィラーにより発生したクラックであるが、長さは約 15mm である。亀裂長さ c とフィラー対辺長さの $1/2=R$ との比 $c/R=1.1$ の時、隣接するフィラー間距離 d が $3R$ 以内であればクラックが貫通すると推定され⁴⁾、ここでは $d=40\text{mm}$ 程度となる。隣接する樹脂フィラー間距離がこの値より小さければ、

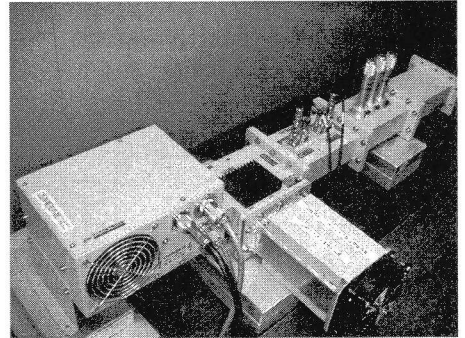


写真1. マイクロ波加熱装置

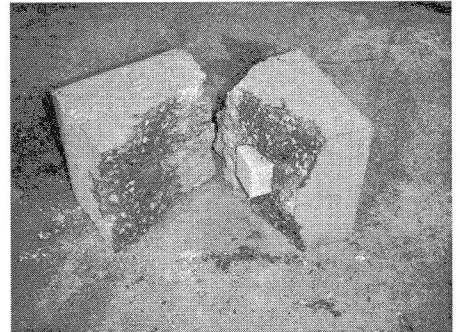


写真2. 50mm角樹脂フィラーによる破碎

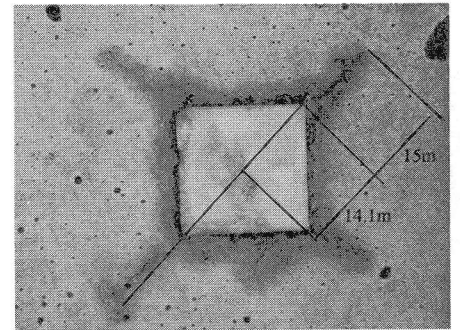


写真3. 20mm角樹脂フィラーによる亀裂

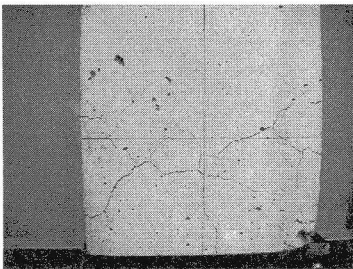


写真4, 5 体積比0.2%の20mm角PET樹脂フィラーによる亀裂

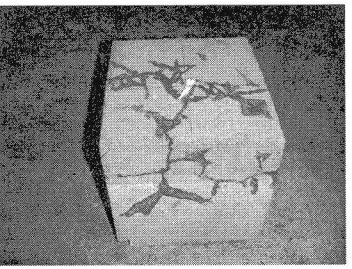


写真6. 体積比0.1%試験体

クラックは樹脂フィラーを連結するように成長し、試験体を破碎するに至ると考えられる。

そこで、実際の構造物においてコンクリートに混入が容易な 20mm 角サイズ PET 樹脂フィラーを多数混入した 20cm 角の普通コンクリート試験体を作製して破碎実験を行った。写真 4、5 は体積比 20% の PET 樹脂フィラー混入試験体を作成してマイクロ波照射した場合、写真 6 は同じく体積比 10% の場合で、何れも 1 kW、約 2 分間の加熱により多数のクラックを生じることが判った。なお、この時の試験体表面温度が 100℃ 以上の範囲は幅約 10cm、そして深さ 5cm での最高温度は約 80℃ であると推定される。現在商用生産されているマグネトロンの内、最大容量のものは 10kW 程度であり、現場においてはこうした大型装置を用いることにより 10 秒間程度の照射により幅 20cm、深さ 10cm 程度の範囲にクラックを多数発生させうると推定され、十分実用に供することができるものと期待される。

3. 樹脂フィラーのコンクリートへの混入

再生 PET 樹脂の比重は約 1.4 であり、コンクリート・マトリックスより軽いので分離する傾向があるので増粘材を投入してこれを防止する方法について検討した。

はじめに PET 樹脂フィラーと同じ大きさの天然骨材（比重 2.5）をモルタルに入れて、スランプフロー試験機で落下させてその移動速度をそのサイズの骨材の基準移動速度とする。次に増粘材を入れたモルタル中における PET 樹脂の移動速度を計測し、移動方向は逆であるが絶対値が基準移動速度と等しい時の増粘材添加量を適正添加量とすることとした。なお、ここでは増粘材としてセルロース系を用いた。

写真 7 に試験状況を示す。スランプフロー試験機の上にモルタルを入れた容器を振動でずれないように固定し、細い移動距離計測用金属棒を付けた骨材や PET 樹脂をモルタル中に入れて落下回数毎の移動距離を金属棒先端の変位で計測した。モルタルは普通コンクリートでスランプ 8 cm とした。計測結果は図 1 に 10mm 角 PET 樹脂フィラーの場合で例示するように落下回数毎の移動速度はほぼ一定と見なすことができる。こうして得られた移動速度を一回当たりの移動距離で示したのが図 2 で、これは PET 樹脂フィラー 20 mm 角の場合であるが、基準移動速度と同じ移動速度とするためには増粘材を約 200g/m³ 添加すれば良いことが明らかとなった。

4. まとめ

コンクリートに 20mm 角の PET 樹脂フィラーを体積比 10% 程度混入した Easy-break Concrete をマイクロ波照射加熱（1 kW、2 分間）することにより照射面から 10cm 深さまで破碎することが可能であることを実験的に確かめた。また比重が 1.4 と天然骨材より小さい PET 樹脂フィラーをコンクリートに混入するためには増粘材の利用が有効であることを確認し Easy-break Concrete の実用化に一步近付くことができたと考えている。

なお、本研究は経済産業省「地域新生コンソーシアム研究開発事業」の一環として行われている研究であり、また日本材料学会複合材料部門委員会の「寿命制御コンクリートワーキンググループ」の支援を受けている。関係の方々のご指導、ご支援に対し深く感謝いたします。

【参考文献】 1) 並木木宏徳他：高分子材料を用いた自砕性コンクリートの破壊特性、日本材料学会第 50 期講演論文集 pp69-70、2001。

2) 並木木宏徳他：マイクロ波照射による樹脂ペレット混入モルタルの破碎、マイクロ波効果・応用国際シンポジウム講演要旨集 pp162-163、2002。

3) 日下貴之他：複合材料技術を応用した寿命制御スマートコンクリートの開発と産業利用、FRP シンポジウム講演論文集、2003。

4) 稲葉力他：形状記憶合金を圧力源とした岩石静的破碎器に関する研究、資源と素材学会誌、第 107 巻、第 13 号、pp. 959-964、1991。

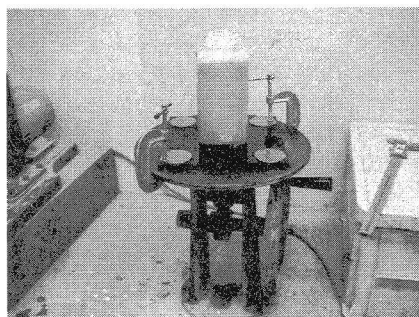


写真 7. 樹脂フィラー分離試験

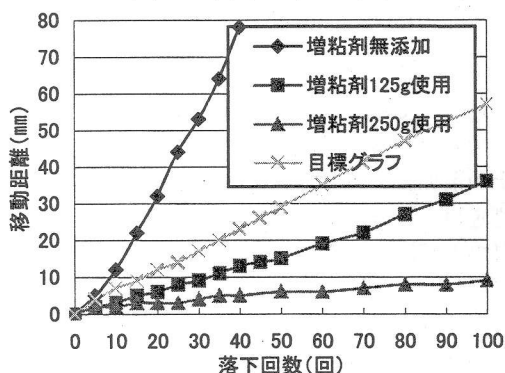


図 1. PET樹脂(10mm角)の移動距離

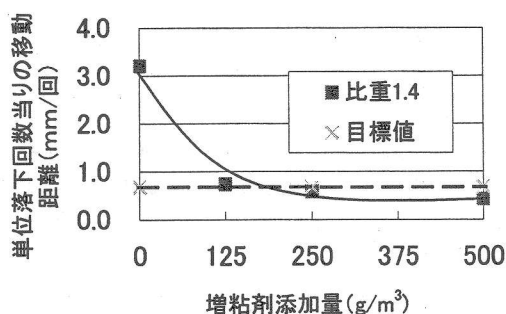


図 2. 増粘材量と分離傾向の関係 (20mm角)