

レーザー逆コンプトン γ 線と電子陽電子消滅線によるコンクリート中の鉄筋の検出

(株)日鐵テクノロジー 正会員 ○金田 尚志
(独)産業技術総合研究所 豊川 弘之

1. はじめに

著者らはこれまで、コンクリート内部の非破壊検査手法としてレーザー逆コンプトン γ 線の適用性について検証を行ってきた。その結果、配筋状況、ひび割れ(ひび割れ幅 0.2mm 以上)、空隙、粗骨材分布を鮮明にとらえることに成功している^{1), 2)}。透過法によるラジオグラフィでは、検出器を測定対象物の背面に設置し、 γ 線の透過量から対象物内部の画像(密度分布)を得る。柱や梁部材を検査対象とする際は、このような測定手法は可能であるが、擁壁やトンネルの覆工など背面に検出器を設置できない場合も多い。そこで、コンクリート表面側から電子陽電子消滅線を検出することで、コンクリート中の鉄筋位置の推定が可能か検証を行った。

2. 電子陽電子消滅線の検出

γ 線のエネルギーが高い場合、電子や原子核の近くを通った際に、 γ 線が消滅するかわりに 1 組の電子と陽電子を生成することがある(電子対生成)。生成された陽電子が電子と対消滅すると図-1 のように 511keV の γ 線が 180 度対向方向に 1 対放出される(電子陽電子消滅線)。

物質に γ 線を照射した場合、密度が高い物質は単位体積中により多くの原子核があるため、密度が低い物質より電子陽電子対を生成する確率が高くなる。また、生成した陽電子が電子と再結合(対消滅)する確率は物質の電子密度に比例する。そのため、鉄筋コンクリートに γ 線を照射すると、 γ 線軸と鉄筋が重なった際に 511keV の γ 線のカウントが増加する。図-2(上図)のように供試体の前面に高純度ゲルマニウム(HPGe) γ 線検出器を設置して電子陽電子消滅線を検出する。

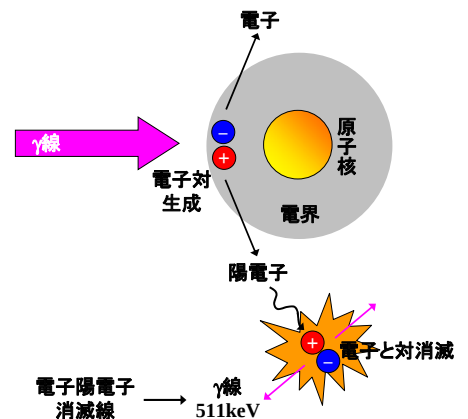


図-1 電子陽電子消滅線の発生機構

3. レーザー逆コンプトン γ 線 CT システムによる鉄筋の検出

本実験で用いたレーザー逆コンプトン γ 線 CT システムを図-2(下図)に示す。電子蓄積リングに蓄積され、加速した電子にレーザーを照射するとレーザーと逆方向に準単色高エネルギー γ 線(レーザー逆コンプトン γ 線)が発生する。これを 1 次コリメータ(2mm 径)でビーム径を絞り、ステージ上のサンプルを透過した γ 線を 2 次コリメータ(5mm 径)の先の NaI(Tl)シンチレーション検出器で検出する。本実験で用いているのは第一世代(Translate/Rotate)と呼ばれる CT システムであり、供試体をステージ上で、移動、さらに回転させることにより、複数方向から γ 線を照射するのと同じ測定条件をつくりだしている。サンプルの前面側で電子陽電子消滅線を、更に背面側で透過した γ 線を検出し、再構成することで CT 画像を得る。

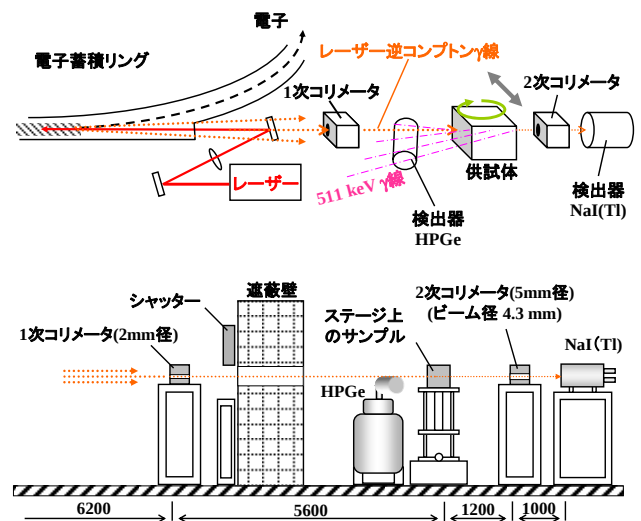


図-2 電子陽電子消滅線の検出方法と CT システム

4. 実験結果

測定サンプルは、図-3 に示すような 100×100×100mm のコンクリートブロックで、D6, 10, 13, 16 の径の異なる鉄筋が配置されている。サンプルをステージ上に設置し、上面から 20mm の位置においてスキャン時間 2mm/秒で CT 画像

キーワード 非破壊検査, レーザー逆コンプトン γ 線, 電子陽電子消滅線

連絡先 〒804-8501 北九州市戸畑区飛幡町 1-1 新日本製鐵(株) 八幡製鐵所 戸畑管理センター1F (株)日鐵テクノロジー TEL 093-872-6126

の撮影を行った。CT の画像再構成は、フィルタ逆投影法(前処理フィルタ: Shepp-Logan フィルタ, butterworth フィルタ)で行っている。図-4 に得られた CT 画像を示す。右下の画像は、サンプルを透過した γ 線(9.05MeV)から再構成し、左下の画像は、サンプル前面で検出した電子陽電子消滅線(511keV)から再構成したものである。511keV の γ 線のカウンタ数が小さかったため、右下の画像と比較すると不鮮明ではあるが、鉄筋とコンクリートの判別は十分に可能である。511keV の γ 線は、 4π 方向全体に放射されるが、現在のシステムではその一部しか検出できていない。検出面積を拡大してカウンタ数を増大させる等のシステムの改良により精度を向上させることができると考えられる。

5. 実構造物適用への検討

実際の測定時には、測定対象物に照射するレーザー逆コンプトン γ 線のビームライン上に立ち入らないことで被曝を避けることはできる。511keV の γ 線(電子陽電子消滅線)は、測定対象物から 4π 方向全体に放射されるが、本実験で用いている程度の線源では、極めて微弱な信号なため、放射線被曝の懸念は一切無い。

実構造物の検査を行う場合、室内実験のようにサンプルを移動・回転させることはできず、また前面一方向からのみ測定が可能な条件も多い。今後は、図-5 のように511keV の γ 線の信号の変化から金属部や未充填部の検出に取り組む予定である。この場合、鉄筋のかぶりが厚いと γ 線が減衰して 511keV の γ 線が検出器まで届かないことが考えられるため、限界検出深さに関しても検証したい。未充填部の検出にはどの程度の統計量(ビーム強度)が必要か検討していく予定である。511keV の γ 線波形の幅(計数率)と鉄筋径に相関が認められれば、鉄筋径の推定も期待できる。

6. まとめ

レーザー逆コンプトン γ 線を用い、電子陽電子消滅線による CT 画像の撮影を行った。測定面前面に検出器を設置し、コンクリート中の鉄筋の検出を試みた。本手法による CT 画像の取得は世界的にみても過去に事例が無く、今後、実構造物への応用に向けて実験・検証を進めたい。

参考文献

- 1) 金田尚志, 豊川弘之, 魚本健人: レーザー逆コンプトン γ 線によるコンクリート内部の検査, 一最新技術を使うとここまで見える—コンクリート工学, Vol.45, No.6, pp.35-40, 2007.6
- 2) 金田尚志, 豊川弘之, 魚本健人: レーザー逆コンプトン γ 線によるコンクリートの透過画像の撮影: 土木学会第 62 回年次学術講演会講演概要集, 5-031, pp.61-62, 2007
- 3) H. Toyokawa, T. Hirade, R. Kuroda, R. Suzuki, T. Ohdaira: Application of High-energy Photon Beam to Industrial Imaging based on Positron Annihilation, Proceeding of The Eighth International Topical Meeting on Nuclear Applications and Utilization of Accelerators (AccApp07), pp.331-335, Jan. 2008.

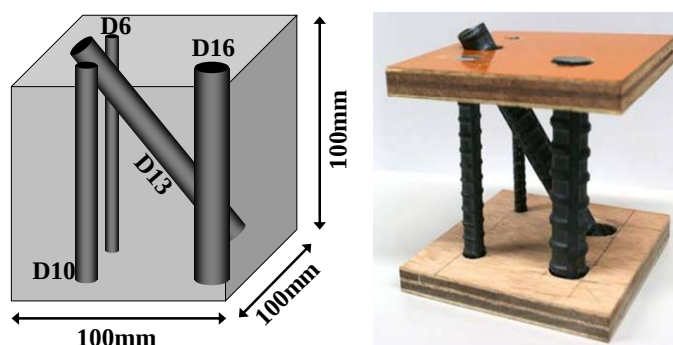
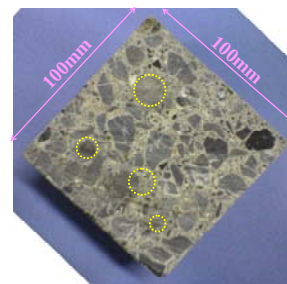
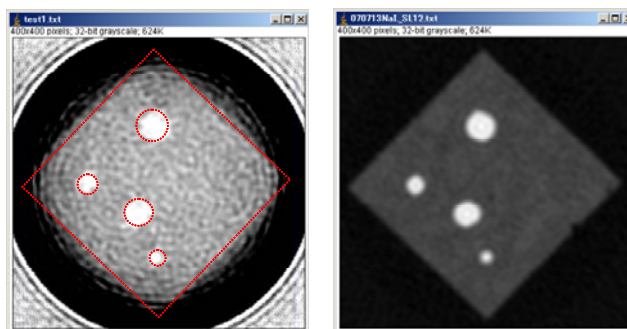


図-3 サンプルの寸法と配筋状況



供試体上面の写真



電子陽電子消滅線を利用したCT画像 (511keV) レーザー逆コンプトン γ 線を利用したCT画像 (9.05MeV)

図-4 CT 画像³⁾

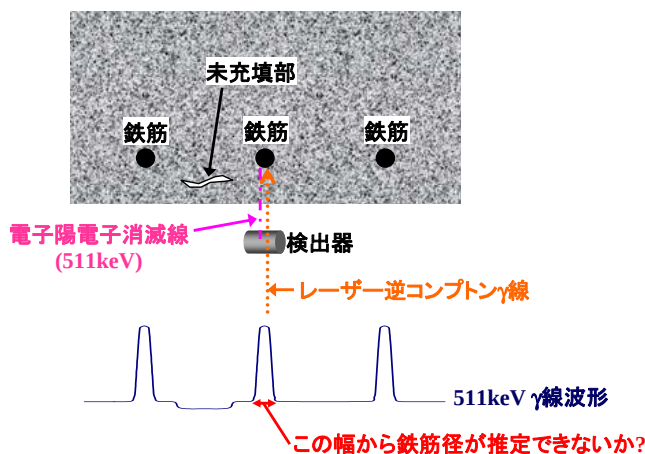


図-5 前面一方向からの鋼材の検出