

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 22 日現在

機関番号：14301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2017

課題番号：16K14536

研究課題名(和文) エネルギー弁別オートラジオグラフィによる橋脚健全性診断法の開発

研究課題名(英文) Development of a diagnostic method for the intactness of concrete piers by energy-resolved auto-radiography

研究代表者

神野 郁夫 (Kanno, Ikuo)

京都大学・工学研究科・教授

研究者番号：50234167

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：K-40のガンマ線数を増加させた加速試験を行うため、内容積が20x20x20cmの亚克力容器を製作し、これにKCl粉末を入れた。検出素子は、ガラス線量計であり、検出効率を向上させるため5枚重ねた。厚さ2mmの鉛で線量計を囲み、ガンマ線の入射方向を制限して測定したが、直径10mmの鉄筋の有無を判別できなかった。次に、砂に含有されるウランやトリウムの子核種から放出される200～400keVのガンマ線を用い、ガンマ線の検出効率が高いイメージングプレートで測定を行った。しかし、鉄筋の有無の判断はできなかった。ガンマ線の体積源がある場合、それらが優勢となり鉄筋の有無の測定ができなかったと考える。

研究成果の概要(英文)：For an accelerated test with increasing the number of gamma rays emitted by K-40, we made an acrylic container with the dimensions of 20x20x20 cm filled with KCl powder. We used five glass dosimeters stacked into one as a gamma ray detector. Although we restricted the incidence direction of gamma rays with using lead collimator with 2 mm in thickness, we could not detect an iron bar with the diameter of 10 mm. We employed 200~400 keV gamma rays emitted by daughter nuclei of uranium and thorium which included in the sand in acrylic container, and image plate which had higher detection efficiency as a gamma ray detector. However, we found it difficult to detect the iron bar in the sand.

The KCl and the sand in the acrylic container were volume sources of gamma rays. Although collimated gamma rays could tell the iron bar, we think that the volume source gamma rays played a role as a strong background noise to erase the attenuated gamma rays which indicated the iron bar.

研究分野：放射線物理学

キーワード：橋脚健全性診断 コンクリート ガンマ線 オートラジオグラフ 受動的検出器

本研究は、コンクリート橋脚などの健全性を診断することを目的としている。橋脚の健全性診断には、1MV 程度に電子を加速して発生させた X 線や、数 MeV の陽子により発生させた中性子を用いる方法が研究されている。しかし、健全性を診断すべき建設後 50 年を経た橋脚は、日本の中に 70 万基以上あるとされているので、高エネルギー X 線発生装置や可搬型中性子発生装置を 100 基製作したとしても、診断には長期間を要する。そこで、我々は受動的素子を橋脚に貼付することで、橋脚の健全性診断を行うことを発案した。すなわち、コンクリートや鉄筋の劣化には長時間を要するので、劣化の診断には半年や 1 年程度の時間を要しても不都合はない。また、診断にはコンクリートに含有される天然の放射能 K-40 から放出される 1.46MeV のガンマ線を使用する。これにより、能動的装置を使用せず、測定に用いる受動的素子を橋脚に貼付し、一定の期間が経過したのちに、素子の測定を行うことで、健全性の診断が可能となる。また、1 年程度の長期間、素子を放置するので、盗難などを避けるため、安価で他に用途がない素子を用いることが肝要である。

事前の検討では、かぶり厚さ 1cm の位置にある直径 1cm の鉄筋の有無が、1.46MeV のガンマ線の測定値 10% の差で判断できた。そこでコンクリートから放出される K-40 のガンマ線数を増加させ加速試験を行うため、内容積が 20x20x20cm のアクリル容器を製作し、これに KCl 粉末を入れた。また、直径 1cm の鉄筋の被り厚さが変更できるようにした。検出素子としては、ガラス線量計を用いた。このガラス線量計は、我々の被ばく管理をするためのガラスバッジに内蔵されている素子である。この素子は Cs-137 のガンマ線 0.662MeV を測定するために製作されている。測定対象が 1.46MeV のガンマ線測定であるので、検出効率を向上させるため、ガラス線量計を 4 枚、あるいは 5 枚重ね、一つの素子とみなした。

K-40 からはガンマ線の他に、ベータ線も放出される。ガラス線量計がガンマ線のみによって照射されることを確認するため、 ^{90}Sr - ^{90}Y 標準線源から放出されるベータ線を GM 計数管で測定した。この際、(1)標準線源をそのまま測定、(2)標準線源の上に 1cm 厚さのアクリルを置いて測定、(3)標準線源の上に 5mm 厚さの Al を置いて測定、(4)標準線源を取り除いてバックグラウンド測定 をそれぞれ 10 分間 実施した。その結果の計数は (1) 19747、(2) 222、(3) 179、(4) 208、となり、上記アクリル容器と同じアクリル 1cm で K-40 から出る最大 1.3MeV のベータ線は完全に吸収され、ガラス線量計にはガンマ線のみが照射されることを確認した。

次に、京都大学大学院工学研究科建築学専攻西山教授から 5 種のコンクリートテストチューブ(直径 10cm、長さ 20cm)を借用した。このテストチューブと KCl 粉末が同じ形状となるアクリル容器を製作し、コンクリートおよび KCl から放出されるガンマ線のエネルギースペクトルを測定した。その結果、K-40 の 1.46MeV ガンマ線は、KCl において種々のコンクリートの約 10~20 倍の量が放出されることが判明し、加速試験が可能であることを確認した。

ガラス線量計は、幅 7mm、長さ 30mm、厚さ 1mm である。まず、アクリル容器の水平

方向のガンマ線強度分布を測定するため、ガラス線量計を4枚重ね、一組とし、容器高さの1/2の線上に、隙間なくガラス線量計を配置した。橋脚の測定期間を1年と想定し、20倍の加速試験ができるとし、3週間の照射を行った。測定結果を図1に示す。横軸の同じ点に1~4までの測定結果が示されているが、これは重ねた4枚のガラス線量計をアクリル容器側から1~4番目としたものである。ガラス線量計は個性がそろっていないが、数10%もの測定ばらつきがあった。このような試験を数回行っていく中で、ガラス線量計を4枚一組とする際に着用したゴム手袋、また一組とするために用いた料理用ラップによるガラス線量計の汚損が原因であるとわかった。木綿手袋を着用し薬包紙を用いることとした。この結果、測定値が安定した。

直径1cmの鉄棒をアクリル容器の水平方向中心から±28mmの位置に挿入した。かぶり厚さは1cmである。ガラス線量計を5枚一組とし、アクリル容器水平方向の中心(0mm)、±28mmおよび±56mmの位置に設置し、3週間照射した。鉛コリメータをつけない場合(No Collimator)、また1cmあるいは3cmの鉛コリメータをつけた場合の測定を行った。測定結果を図2に示す。バックグラウンドはControlとして示してある。ガラス線量計の測定は、1枚について5点での読み出しを行っている。この平均値をマークで示し、標準偏差を誤差棒として示している。コリメータなしからコリメータが厚くなるほど測定値が小さくなるがこれは理にかなっている。しかし、同じコリメータを用い、同じ測定点でも測定結果にばらつきが見えた。

同じガラス線量計の5点の読み値のばらつきが大きいものは利用しないこととし、5点の標準偏差が10よりも小さいガラス線量計のみを利用した結果を図3に示す(In Plate STDEV<10)。この結果は、図2に示した結果(図3のAverage)とほとんど変化がなかった。ここで10よりも小さい、とした10の値には特別な根拠はない。そこでさらに、同じ測定位置にある5枚のガラス線量計の平均値の標準偏差が10以内の線量計のみを利用した結果を In 5 Plates STDEV<10として示す。この

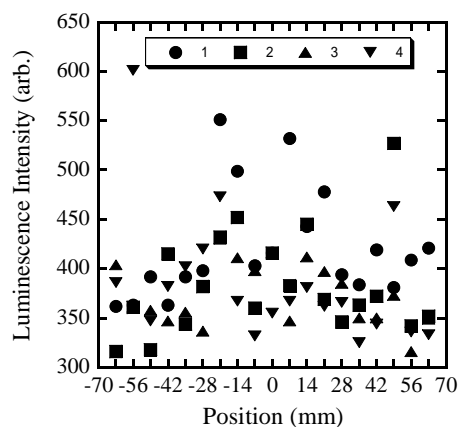


図1. 測定点の読み値のばらつき。

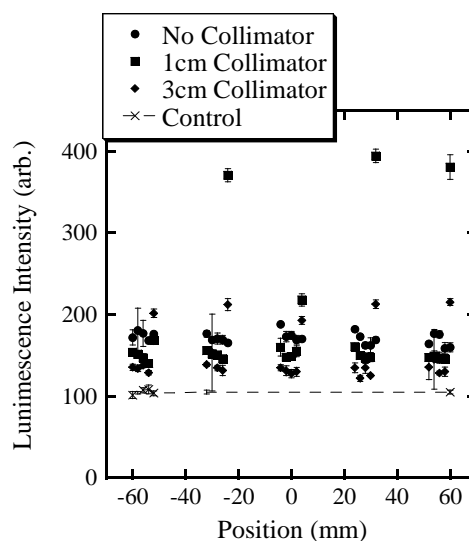


図2. 鉄棒を±28mmの位置に挿入した場合のガラス線量計の測定結果。

ような統計処理法の正当性は不明であるが、この処理により、標準偏差がかなり小さい結果となった。しかし、鉄棒を設置した $\pm 28\text{mm}$ の位置の測定結果と他の位置の測定結果にほとんど差が見られなかった。

1.46MeVのガンマ線が直径1cmの鉄筋をある程度透過すること、またガンマ線の体積源が大きいこと、鉄筋によって遮蔽されたガンマ線量が有意に測定されにくいことが原因と考えた。

そこで、K-40の1.46MeVよりもエネルギーが低い、砂に含有されるウランやトリウムの娘核種から放出される200~400keVのガンマ線を用いることとした。さらに、ガラス線量計よりもガンマ線の検出効率が高いイメージングプレートで測定を行った。

イメージングプレートはA4判の寸法であるので、ガラス線量計に用いた鉛コリメータを使用することができない。そこで、厚さ1mmのステンレス板に直径1mmの穴がハチの巣状にあけられているパンチ板を10枚積層し、厚さ1cmのコリメータとした。また、水平線上の位置を明らかにするため、厚さ1cmのステンレス板に溝を加工し、その上にパンチ板コリメータを乗せた。写真を図4に示す。パンチ板コリメータ、溝付きステンレス板を通過したガンマ線がともに測定できるようにイメージングプレートを設置した。

ガラス線量計を用いた測定の場合と同様に、水平方向 $\pm 28\text{mm}$ の位置、かぶり厚さ1cmに直径1cmの鉄棒を配置した。1カ月間、照射を行

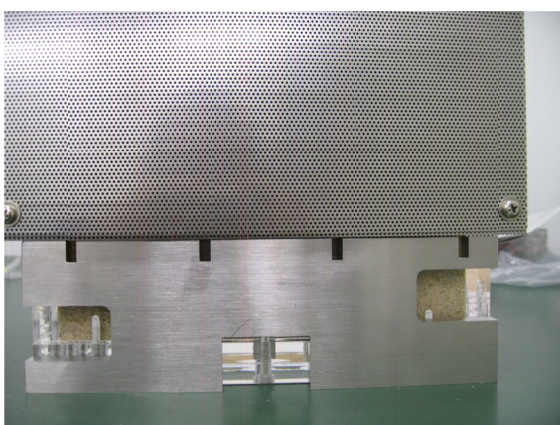


図4. パンチ板コリメータ(上部)と溝付きステンレス板。溝の奥に砂が見える。

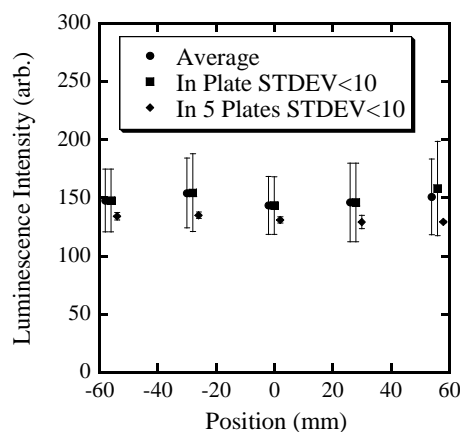


図3. 3cmのコリメータを用いた場合の測定結果。

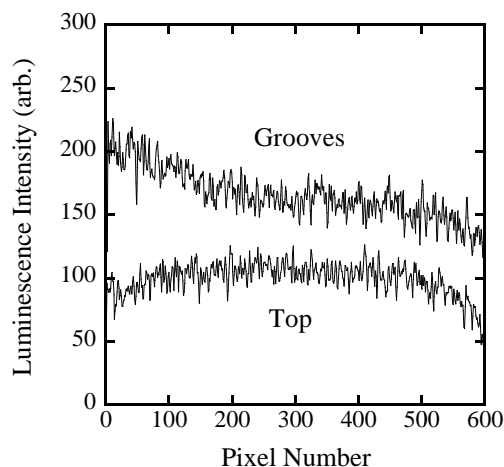


図5. 砂から放出されるガンマ線分布。Topはアクリル容器の上蓋の下、Groovesは、ステンレス板の溝部分の測定値。

い、その後、イメージングプレートの測定を行った。結果を図 5 に示す。Top は、アクリル容器の上蓋付近、Grooves はステンレス板上部の溝が 4 個ある点での測定結果である。測定結果 Top では、中央部分の測定値が高いという、理解できる結果である。しかし、Grooves では、右下がりのふるまいが見られ、またより多数のガンマ線が溝を通過すると考えられる結果が得られなかった。また、鉄筋の有無の判断は困難であることが分かった。

1cm のステンレスによるガンマ線のコリメーションが困難であることを示した結果となった。また、測定対象が 200~400keV または 1.46MeV と高エネルギーのガンマ線であることから、ガラス線量計、イメージングプレートの検出効率が低い、という問題がある。

今後の検討課題としては、高エネルギーガンマ線に光電効果やコンプトン散乱を起こさせることで、エネルギーが低いガンマ線や電子に変換し、信号を増幅する受動型検出素子を開発することがある。このためには、受動型検出素子と例えば厚さ 1mm の鉛板とを何層かに重ねる方法が考えられる。また、コンクリート内部のガンマ線を広い視野で測定するため、マルチピンホールカメラの原理を使うことも検討している。