

# コンクリートからの後方散乱ガンマ線を低減させる表面材の研究(5)

Study on Some Surface Materials Reducing the Backscattered  $\gamma$  Rays from Concrete (5)

斉 藤 秀 雄\*・佐 藤 乙 丸\*

Hideo SAITO and Otomaru SATO

## 1. ま え が き

前報<sup>1-3)</sup>と同様に無限厚コンクリートから後方に散乱する X, ガンマ線を低減させる目的で, 鉄板および鉛箔を表面材として用い, 前回<sup>1-4)</sup>と同じ配置で実験した。

今回は <sup>192</sup>Ir からのガンマ線, 約 350 keV 付近のエネルギーに着目して後方散乱ガンマ線スペクトルおよびその低減率や飽和特性などを実験的に求めた。また, M. J. Berger<sup>9,10)</sup>らの行った光子束エネルギーアルベドについても比較検討した。なお, いままで述べた入射エネルギーが異なるいくつかのアイソトープからの X, ガンマ線の散乱線低減率特性を求め, コンクリートの表面材である鉄および鉛の最適使用厚さについて検討したので以下に報告する。

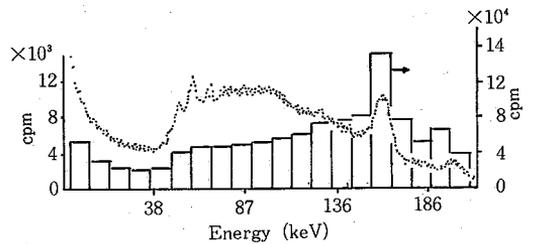
## 2. 実 験 方 法

<sup>192</sup>Ir の密封ガンマ線源 60 mCi を用い, これを前報<sup>4)</sup>と同じジオメトリーで鉛照射容器のほぼ中心部に收容して固定し, そのガンマ線ビームを 20 mm $\phi$  に絞り, 散乱体表面に対して垂直に照射し, 135° 方向に散乱してくる X, ガンマ線を Ge(Li) 半導体検出器<sup>3)</sup>を用いて検出し, この出力をマルチチャンネル波高分析器に導いてエネルギー分析を行った。この場合, 使用した線源 (S) と検出器 (D) との距離は 300 mm で, 前報<sup>1-3)</sup>と同様に鉄および鉛の厚さを考えて散乱ガンマ線低減率特性などを求めた。

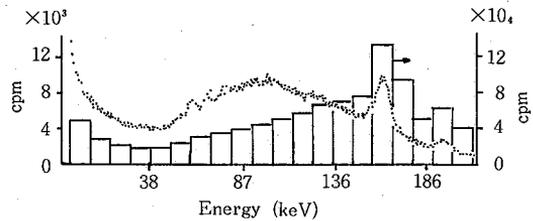
## 3. 実 験 結 果

### 3-1 <sup>192</sup>Ir の散乱ガンマ線スペクトル

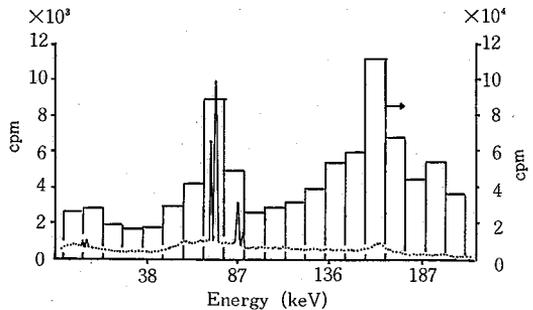
図 1 (a) (b) (c) は <sup>192</sup>Ir ガンマ線源を用い, 無限厚コンクリートのみと, その表面に厚さ 1.0 mm 鉄板または厚さ 0.1 mm 鉛箔を貼布したときの後方散乱ガンマ線エネルギースペクトルである。図の点線は検出器<sup>3)</sup>のエネルギー計数効率を補正する前のスペクトルであり, 図の実線は点線の散乱スペクトルを全エネルギーについて



(a) 無限厚コンクリートのみ



(b) 無限厚コンクリート+鉄板 (厚さ 1.0 mm)



(c) 無限厚コンクリート+鉛箔 (厚さ 0.1 mm)

図 1 <sup>192</sup>Ir による散乱ガンマ線スペクトルとエネルギー補正したヒストグラム

20 等分に分割して積分計数し, その平均計数率を求めて効率補正を行ったヒストグラムである。図 1 (a) は無限厚層のコンクリートの場合で 160 keV および 199 keV 付近のピークは表 1<sup>11)</sup>に示した 1 回散乱ガンマ線成分である。また 1 回散乱ガンマ線のほかに多重散乱ガンマ線成分が 80~137 keV 付近に生成し, Os および Pt KX 線の散乱線も同時に生成している。点線のスペクトルを補正すると 1 回散乱ガンマ線成分が主になり, 多重散乱

\* 東京大学生産技術研究所 第 4 部

表 1 <sup>192</sup>Ir ガンマ線の核特性

線源	放射線強度 (mCi)	半減期 (T1/2)	放射線量率定数 (R.m <sup>2</sup> .h <sup>-1</sup> .Ci <sup>-1</sup> )	放出ガンマ線エネルギー (keV) とその割合 (%)	135° 方向による 1 回散乱ガンマ線エネルギー (keV)
<sup>192</sup> Ir	60	74.2d	0.48	296 (29%) 308 (30%) 317 (83%) 468 (48%) 604 (8.2%) Pt, Os K X-rays	160 199

ガンマ線成分はわずかとなる。

図 1 (b) のスペクトルでは、点線で示した両 KX 線成分が鉄板によって吸収され、効率補正後のヒストグラムは 1 回散乱ガンマ線成分のみとなる。また図 1 (c) の補正したヒストグラムでは、Pb KX 線成分より 1 回散乱ガンマ線成分の方が多くなり、Pb LX 線成分はわずかとなる。しかし、鉛の厚さを次第に厚くすると、吸収断面積の大きい鉛によって 1 回散乱ガンマ線成分が吸収され、厚さ 1.0 mm では Pb KX 線成分のみとなる。

3-2 <sup>192</sup>Ir 散乱ガンマ線のエネルギーアルベドについて

図 1 (a)(b)(c) のエネルギー計数効率補正後のヒストグラムを用い、コンクリートのみとその表面に貼布した鉄および鉛の厚さを変えたときのそれぞれのエネルギーアルベドについて、M. J. Berger<sup>10,11)</sup> らの値と比較検討した。

いま、入射ガンマ線 (光子) が後方に散乱する光子束密度をエネルギーアルベド (D) に変換する式は次式となる。<sup>12,13)</sup>

$$D = \sum_i \frac{\mu_a(E_i) n_i N}{7.08 \times 10^{-6} S} \quad (1)$$

- $\mu_a(E_i)$ : 散乱ガンマ線エネルギー ( $E_i$ ) に対する空気  
のエネルギー吸収係数
- $n_i$ : 個々のヒストグラムの散乱ガンマ線積分計数  
率
- $N$ : 散乱ガンマ線ヒストグラムの全積分計数率
- $S$ : 検出器の容積

上式を用いて、コンクリートのみの場合について  $D$  を計算すると、筆者らと M. J. Berger<sup>9,10)</sup> らのエネルギーアルベドを比較した結果を図 2 のグラフ上に示した。筆者らの値は両氏が求めた値と非常に近いエネルギーアルベド値を示している。そこで同様の計算で、鉄および鉛の厚さを変えた場合について求めたものが図 2 である。図のエネルギーアルベドが鉄より鉛の方が 2~3 倍多くな

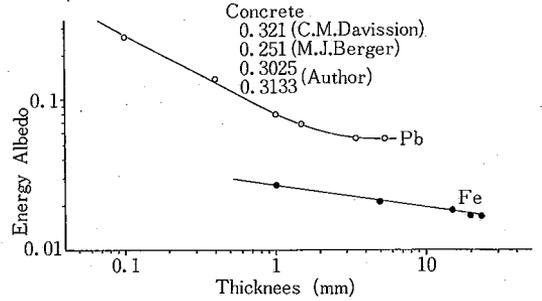


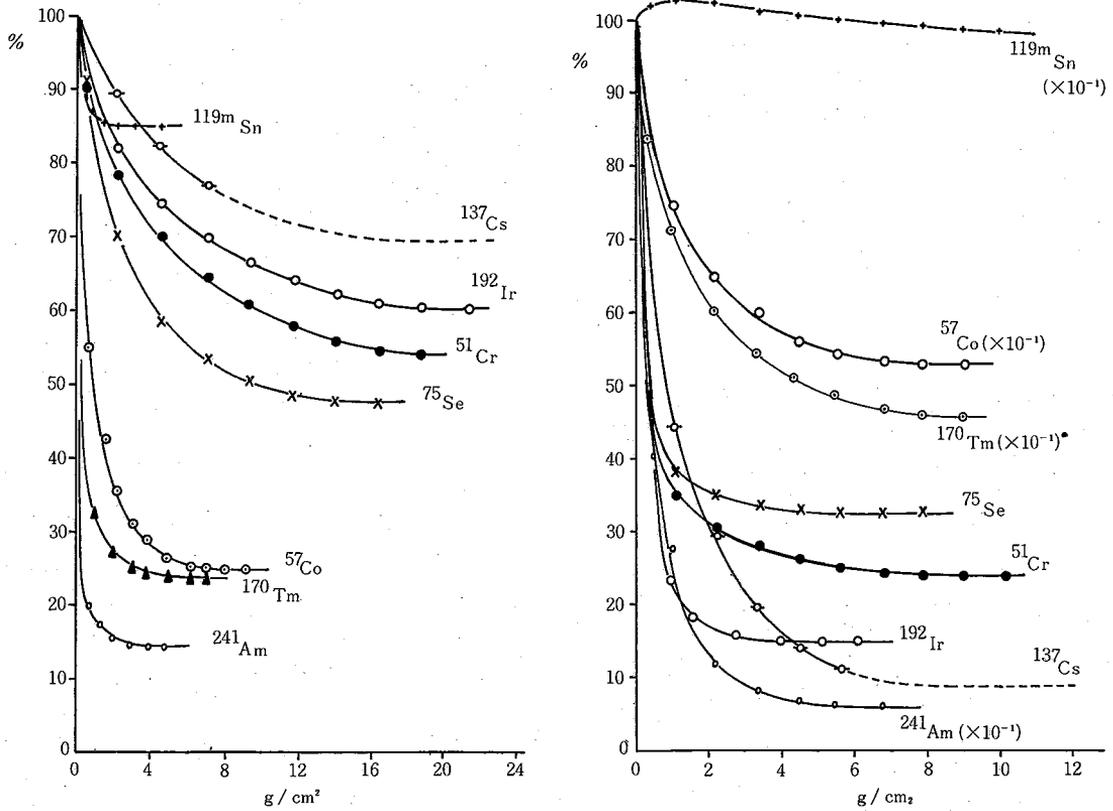
図 2 (1) 式によって求めた <sup>192</sup>Ir のエネルギーアルベド

っているのは、鉛の特性 X 線によるものと考えられる。

3-3 一次ガンマ線エネルギーの異なるときの散乱ガンマ線低減率飽和特性について

前報<sup>1-8)</sup>と同様に、コンクリートの表面材としての鉄板および鉛箔の厚さを変え、<sup>192</sup>Ir からの散乱ガンマ線低減率効果を示したものが図 3 (a)(b) である。このようにして、<sup>192</sup>Ir 以外のいまままで述べてきたいくつかの入射ガンマ線エネルギーの異なるアイソトープを用いて求めた結果も図 3 (a)(b) に示した。この特性は前報<sup>1-4)</sup>で述べたコンクリートのみからの散乱ガンマ線計数率を 100% として、これを縦軸に、横軸には鉄または鉛の厚さ (g/cm<sup>2</sup>) をとったものである。図 3 (a) は鉄板を用いた場合で、入射ガンマ線エネルギーの小さい <sup>119m</sup>Sn を除き、入射ガンマ線エネルギーが小さくなるにつれて散乱ガンマ線低減率飽和値 (%) も小さくなり、60 keV 付近のエネルギーでは、最も小さい値 14% となる。図 3 (b) の鉛の場合は同様に、一次ガンマ線エネルギーから言えば、<sup>241</sup>Am と <sup>170</sup>Tm を除き、Pb KX 線の影響によって、鉄の場合と逆の特性を示しており、中程度のガンマ線エネルギー (<sup>137</sup>Cs) の場合、Pb KX 線の生成する割合が小さいことを物語っている。また図に  $\times 10^{-1}$  で示した <sup>119m</sup>Sn, <sup>241</sup>Am, <sup>57</sup>Co, <sup>170</sup>Tm は厚さ (g/cm<sup>2</sup>) が 1 桁小さいことを表している。これらの両特性から低減率が一定になる比飽和計数率 (%) と一次ガンマ線エネルギーとの関係を表すと図 4 に示す。図の 88 keV および 13.035 keV 付近は Pb 吸収端エネルギー (KX, LX 線) を示し、コンクリートの表面材としての鉄と鉛を比べたものである。鉄と鉛が交差する 225 keV (低減率 50%) 付近を中心にして考えると、鉄の場合は 90~225 keV のエネルギー範囲では散乱ガンマ線低減率飽和値は 20~40%、鉛の場合は 40~67% になる。したがって、このエネルギー範囲では鉛より鉄の方が有効である。また 225~662 keV では、鉄の場合 40~70%、鉛は 10~40% に低減し、鉛の方が約 30% 鉄より小さくなっている。さらに、60 keV 付

研 究 速 報



(a) 無限厚コンクリート表面上の鉄板の厚さを変えたとき (b) 無限厚コンクリート表面上の鉛箔の厚さを変えたとき

図 3 入射ガンマ線エネルギーの異なる散乱ガンマ線低減率飽和特性

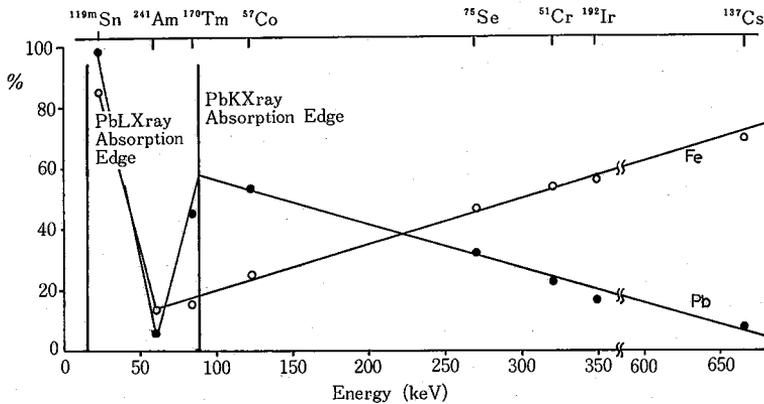


図 4 鉄および鉛の散乱ガンマ線低減率飽和特性とそのエネルギー特性

近のエネルギーに対しては両物質共約 10% の低減率を示し、どちらの材料を用いてもよいことがわかる。<sup>119m</sup>Sn を用いた 24 keV の場合は、両低減材共 80% 以上の低減率を示し、Fe KX 線 (6.4 keV) および Pb LX 線 (10.55, 12.6 keV) の影響によって増大しているものと考えられる。このように、一次ガンマ線エネルギーが K-L 吸収端エネルギーよりわずかに大きい <sup>57</sup>Co, <sup>119m</sup>Sn の場合は特性 X 線の生成量が増大するので、この点を配慮した表面材を用いなければならない。

4. 考 察

無限厚コンクリート表面上に鉄および鉛を貼布して散乱線を減らす場合、両物質共ある程度の厚さが必要になってくる。表 2 は鉄および鉛の厚さをそれぞれ 0.5 mm または 1.0 mm に限定したときの低減率で軟 X, ガンマ線に対しては鉛より鉄の方が、中程度のエネルギーのガンマ線に対しては鉛の方が有効となることを示している。しかし、両材料共低エネルギーの特性 X 線が発生するため、鉄よりも原子番号の小さい Al<sup>4+</sup>等を用いる方が有効な場合も生じてくる。したがって、数 10 keV の以下の軟 X, ガンマ線を問題にする場合には、鉄または鉛表面に Al<sup>4+</sup>板または塗膜等を用いることも有効と考えられる。

表 2 コンクリート表面上に 0.5 mm または 1.0 mm の鉄および鉛を貼布したときの散乱ガンマ線低減率特性

(Unit%)

source Thickness	<sup>119m</sup> Sn	<sup>241</sup> Am	<sup>170</sup> Tm	<sup>57</sup> Co	<sup>75</sup> Se	<sup>51</sup> Cr	<sup>192</sup> Ir	<sup>137</sup> Cs
0.4g/cm <sup>2</sup> Fe (0.5mm)	92.5	25.6	38.0	76.5	85.5	93.5	95.5	97.5
0.6g/cm <sup>2</sup> Pb (0.5mm)	104.0	40.4	68.0	87.5	45.0	40.0	40.7	53.0
0.8g/cm <sup>2</sup> Fe (1.0mm)	87.0	20.4	24.0	63.1	78.0	89.0	91.0	92.0
1.2g/cm <sup>2</sup> Pb (1.0mm)	105.0	27.7	46.5	74.0	38.3	35.0	23.3	39.5

5. む す び

コンクリートの表面材料として鉄および鉛を散乱低減材として用いる場合には一次 X, ガンマ線エネルギーの相違に応じた使い分けをしなければならないこと、その主な原因は特性 X 線の生成にあり、また表面材料の厚さが定められている場合には、その減弱効果を考慮する必要があることがわかった。

(1982 年 2 月 13 日受理)

参 考 文 献

- 1) 斉藤, 佐藤; コンクリートからの後方散乱ガンマ線を低減させる表面材の研究 (1), 生産研究, 32, (8), p 32~35, 1980.
- 2) 斉藤, 佐藤; 同上 (2), 生産研究, 32, (9), p 16~18, 1980.
- 3) 斉藤, 佐藤; 同上 (3), 生産研究, 32 (10), p 36~39, 1980.
- 4) 斉藤, 佐藤; 同上 (4), 生産研究, 33 (1), p 46~45, 1981.
- 5) 佐藤, 斉藤, 加藤, 田中; 散乱γ線低減効果の研究; 第 13 回理工学における同位元素研究発表会要旨集, p 102, 1976. 6.
- 6) 佐藤, 斉藤, 加藤; <sup>241</sup>Am からの γ 線の後方散乱について, 第 14 回理工学における同位元素研究発表会要旨集, p 27, 1977. 6.
- 7) 佐藤, 斉藤, 加藤; 散乱γ線低減材のエネルギー特性, 第 15 回理工学における同位元素研究発表会要旨集, p 143, 1978. 6.
- 8) 斉藤; 後方散乱を用いたコンクリートの表面材に関する研究, 第 37 回日本放射線技術学会総会, p 397, 1981, 4.
- 9) M. J. Berger and D. J. Raso; Monte Carlo Calculations of Gamma-Ray Backscattering, Radiation Research, 12, p 20~37, 1960.
- 10) R. G. Jaeger, E. P. Blizard, A. B. Chilton, M. Grotenhuis, A. Hönl, Th. A. Jaeger, H. H. Eisenlohr; Engineering Compendium on Radiation Shielding (Vol. 1), p 233~245, 1968.
- 11) ラジオアイソトープ手帳; 日本アイソトープ協会, p 48~49, 1979.
- 12) 兵藤; 放射線遮蔽入門, p 34~48, 1966.
- 13) 辻本, 桂山; 散乱ガンマ線の測定 (鉄板中で散乱した Ir-192 ガンマ線), 非破壊検査, 20, (3), p 127~133, 1971.