

γ線の散乱を利用した重量物体の厚さ測定法について

西 田 常 夫・吉 村 精 治

Measurement of the Thickness of a Weighty Object by Using Scattered Radiation of γ-rays

Tsuneo NISHIDA and Seiji YOSHIMURA

Among the nondestructive tests for substances the one by the ultrasonic waves has generally been used, but the one by radioactive rays is also requisite in many cases.

In this paper a new thickness gauge has been examined by using scattered radiation of γ-rays generated from Co-60, in order to measure the thickness of a weighty object by adapting the nondestructive test.

結 言

重量物体の厚さを非破壊的に測定する方法として、γ線の吸収線量の変化を利用した透過法が一般的である。しかし、この方法は被測定体の両面に空間がなければ不可能であり、又、線源と検出器の位置関係を定めるのに苦慮することとなる。

そこで、軽量物体等の厚さを測定するのにβ線の後方散乱を利用する方法があるが、γ線と物質との相互作用の1つである散乱現象も幾何学的状況の中において統計的に増減するものと考えられる。

ここで、放射性同位元素 Co-60をγ線源として、その散乱線を利用した重量物体の厚さ測定法を検討した。すなわち、被測定物体の片面のみの空間を利用する方法である。

γ線と物質との相互作用の1つにコンプトン散乱があるが、コンプトン効果による線吸収係数 μ_c は次の式で与えられている。

$$\mu_c \approx \frac{NZ}{h\nu} \left(\text{Log} \frac{2h\nu}{m_0c^2} + \frac{1}{2} \right)$$

ただし $h\nu \gg m_0c^2$

$$\left(\begin{array}{ll} h\nu ; \text{光子エネルギー} & N ; 1 \text{ cm}^3 \text{中の原子数} \\ m_0 ; \text{電子の質量} & Z ; \text{原子番号} \\ c ; \text{光速度} & \end{array} \right)$$

この式からわかるように、 μ_c は 1 cm^3 中の電子の数 NZ に比例し、光子のエネルギー $h\nu$ に逆比例する。すなわち、物体中の電子との間におこる現象であり、当然、電子の数に関係する。

いま、図一1のように被測定物体 K の上面に配置された放射線源 G と、それより距離 a だけ離れたところに置いた検出器 C について考える。放射線源 G より $\angle AGB = \theta$ (θ は小さな値)の方向に放射された γ 線が、1回の散乱によって、検出器 C に入射する量は断面的に考えると四辺形 GABC の面積に関係してくるであろう。

そこで、被測定物体の厚さ d_0 が Δd だけ増加した場合の体積の増加量、即ち、点 A, B, D, E で示す部分の物体の体積 ΔV は

$$\Delta V = \pi d_0 \Delta d \tan^2 \frac{\theta}{2} (d_0 + \Delta d)$$

この式のように、被測定物体の厚さの増加によって体積が増加する。すなわち物体の厚さが増えてくると、それに従って散乱線の検出量も増加してくる。

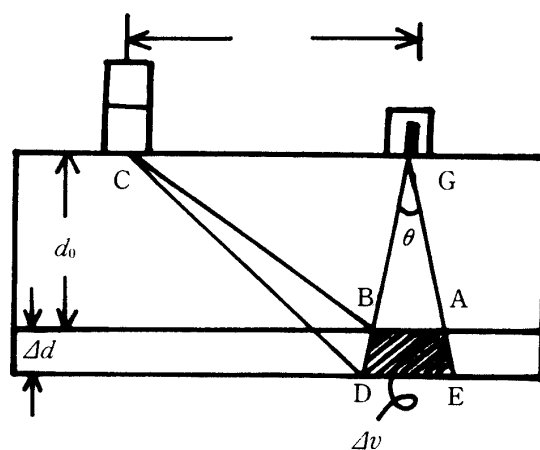
γ 線の二次散乱、三次散乱……と散乱を繰り返すごとにエネルギーが減少し、光電効果は増加し、散乱の確率も増加する。物体中で散乱し、検出器に入射する径路は複雑で、一様ではないが、少なくとも一つの統計的変動をするものと考えてよい。

そこで、物体中での γ 線の散乱線量と物体の厚さとの関係について、次の2つの測定方法を試みた。その1つとして、検出器と放射線源との位置を固定して、物体の厚さを測る方法(線源固定法……仮称)。もう1つの方法として、放射線源を移動して、検出器との間隔を変えて厚さを測る方法(線源移動法……仮称)の2方法による実験を行なった。

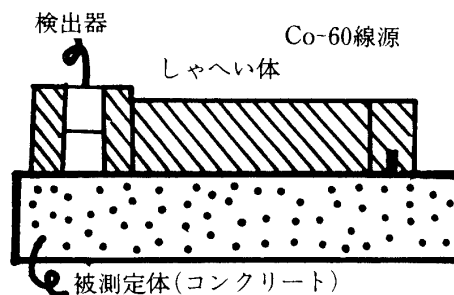
そして、更に、一般に、 γ 線を透過させて測定する方法(γ 線透過法……仮称)の測定との比較をして、測定精度の面でも十分実用可能になっていくと考えられる「線源移動法による厚さ測定法」を考えた。

実験1. 線源固定法

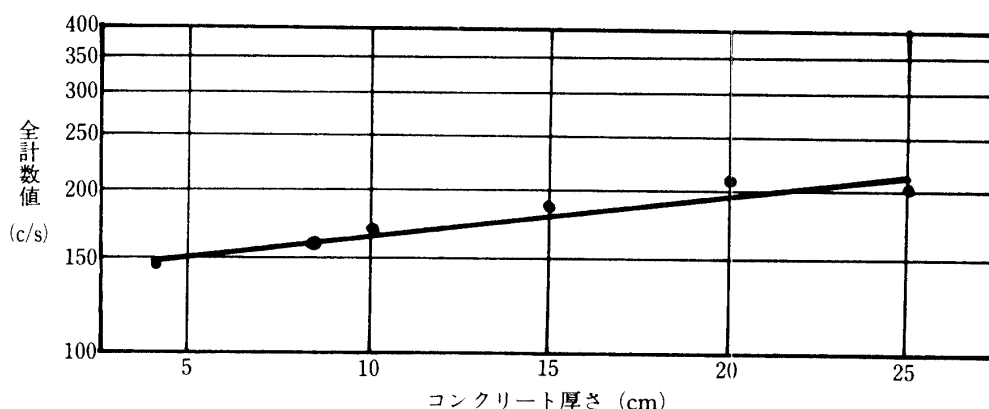
図一2のように、被測定体の表面上に、 γ 線が鉛直下方に放射するようにコリメートした Co-60放射線源 $100 \mu\text{Ci}$ と、5000CH のマルチチャンネル波高分析器に接続してある NaI (Tl) 検出器を配置した。そして、線源と検出器の間に、



図一1 散乱計算のモデル図



図一2 線源固定法



図一3 線源固定法によるコンクリート板の厚さと計数値の関係

線源からのγ線が直接には検出器に入らないようにするために鉛しゃへい体を置いた。鉛しゃへい体の厚さは、検出器に直接入射する放射線量をバックグラウンド程度に減衰させる15cmとした。即ち、線源と検出器の間隔を15cmに固定した。被測定物体として、3, 5, 7, 10, 15, 20, 25(cm)の7種類の厚さで、大きさは50×50 (cm)、比重2.35のコンクリート板を造った。

以上の条件でコンクリート板の厚さと散乱線の全計数値との関係を求めたところ、図一3が得られた。

この結果から、この線源固定法でコンクリート板の厚さを求めると、±10%の誤差内で測定が可能であった。

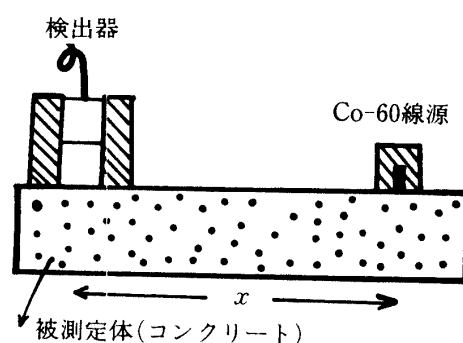
実験2. 線源移動法

この測定法は、検出器の位置の変動に伴う散乱線の変化率から厚さを測定する方法で、図一4のように、被測定体の表面上に検出器と放射線源を置く、線源を移動させて、検出器と線源間の距離 x を変え、検出器に入射する散乱線量の様子を調べた。

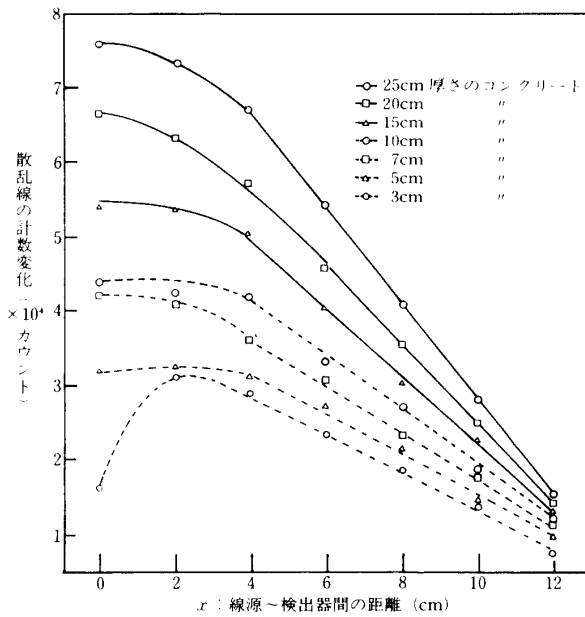
検出器と線源の間に鉛しゃへい体をそう入しないということから、線源より検出器へ直接入射する放射線量は、あらかじめ測定しておき、その量を差し引くこととした。

実験1と同じように、厚さ3, 5, ……25cmの各コンクリート板に対する検出器～線源間の距離 x と散乱線の計数変化を求めて図一5にその結果を示す。

この図で、 x の値が小さい部分での散乱線の計数変化は複雑な変化をしているが、 x が大きい右側の部分(x の値が約4 cm以上)では直線的に減少し、コンクリート板の厚さの増化によって散乱線の減少率が一様に増加していることが見られた。



図一4 線源移動法



図一五 線源の位置と散乱線の変化

一例として、図一六に厚さ7 cmのコンクリート板に対する検出器～線源間の距離 x をかえたときの各スペクトルの変化の様子を示した。この図で、エネルギーの低い部分で変化率が大きくなっており、90CH 近くでのピークは特性 X 線によるものと考えられる。

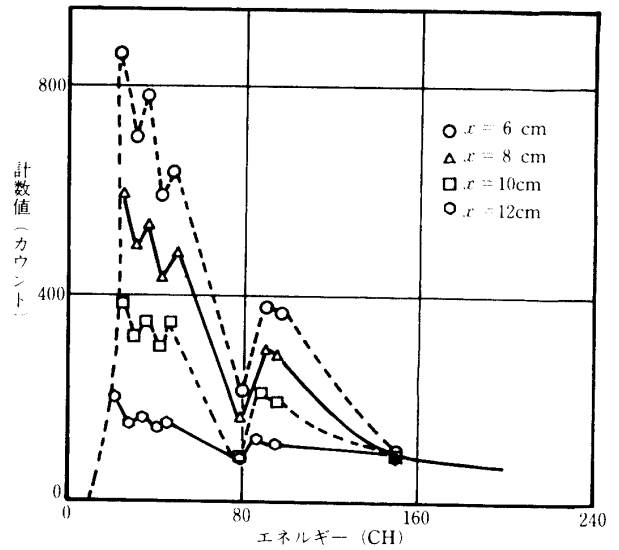
ここで、コンクリート板の厚さと散乱線の変化率、即ち、コンクリート板の厚さと、線源～検出器間の変化に伴う散乱線の減少曲線の勾配との関係を図一七に示す。

この線源移動法では、コンクリート板の厚さを $\pm 5\%$ の誤差内で測定することができた。

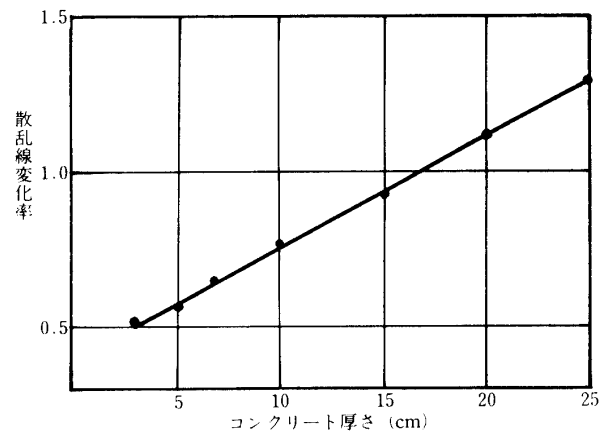
実験3. γ 線透過法

この γ 線透過法は、被測定体の表面上に検出器を置き、その裏面に Co-60 線源を置いて、被測定体の厚さに伴う透過線量の変化を見る一般的な方法である。

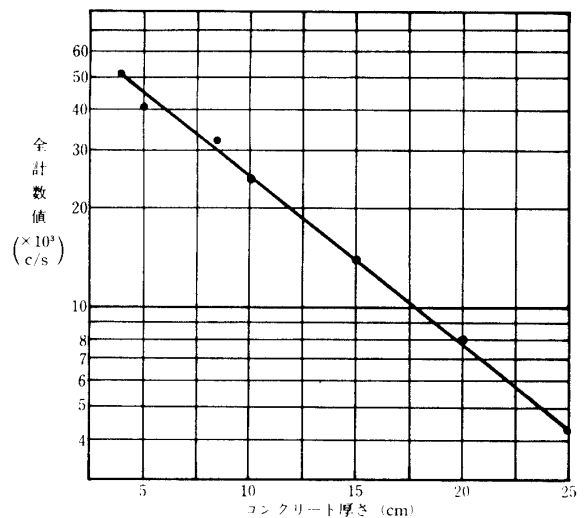
その実験結果を図一八に示す。この透過法による厚さ測定の誤差は $\pm 3\%$ であった。



図一六 散乱線のスペクトル
(コンクリート厚さ7 cm)



図一七 線源移動法によるコンクリート板の厚さと散乱線変化の関係



図一八 透過法によるコンクリート板の厚さと全計数値の関係

ま と め

放射性同位元素の利用で代表的なものとしては、トレーサーの標的としての利用、放射線照射効果の利用、そして、物質を透過する性質を利用したものがある。

この中で、透過性を利用したものは一番複雑なものとされている。

物質の非破壊検査に超音波も導入されているが、X線、γ線を使った検査も欠くことのできない方法である。ただ、放射線と物質との相互作用が複雑なためにその相互作用量を絶対測定として応用することが困難で、精度も低いものと考えられている。

我々は、これらの欠点はある程度止むを得ないものとしても、何らかの工夫で精度を上げ、放射線を利用することによって容易に可能な応用分野を見つけ出すことを目指した。

γ線を用いた重量物体の厚さ計としては透過型が一般的と考えられているが、この研究は物体の片面のみを利用しての厚さ測定という点に注目して実験をした。

その結果、我々の考えた2つの散乱型の測定方法で十分測定が可能なことを確認した。

特に、線源移動法による測定法は

- (i) 散乱線の変化率により重量物体の厚さを求めるので、放射性物質物有の、時間の経過による放射能の減衰に対する補正を要しない。
- (ii) 重量物体の標準試験片による校正をしなくてもよい。
- (iii) 測定誤差が小さく、かなりの精度が見込まれる。

等のような利点を有し、異質な測定方法として、今後十分に、実用化に向けて研究を続ける意義をもつものと考えられる。

参 考 文 献

村上・團野・小林：放射線データブック 地人書館