

## 加速器による非破壊検査の限界

高エネルギー物理学研究所

新富孝和, 増田正美

γ線、特に加速器によるγ線を用いた非破壊検査は、γ線のエネルギーが高く、従って透過度が高いことから、厚板の検査にその威力を発揮する。非破壊検査用の加速器としては、ベータートロン、およびライナックが用いられており、非破壊検査に用いることができるものとして、最大γ線出力が1000r/分程度のものである。その為現在検査可能な板厚は最大500mmが限度である。今後の加速器の進歩によって更に強力なγ線出力が得られるならば、原理的にはより厚い鋼板も検査できるはずである。しかしながら、実際には壁や床などからの散乱γ線や、線源の大きさによる線のぼけ等のために限界がある。ここでは、散乱γ線の影響による検査可能板厚の限界について報告する。

### 理想的な場合の欠陥識別度

非破壊検査の欠陥識別度 (Sensitivity)  $S$  は次式で定義される。

$$S = \Delta t / t$$

ここで、 $t$ : 被検査体の厚み,  $\Delta t$ : 被検査体の中にある欠陥の厚み

欠陥のある場所を通過した後のγ線強度を $I'$ , 欠陥のない場所を通過した後のγ線強度を $I$ とすると理想的な場合には

$$I' / I = e^{-\mu \Delta t}$$

となる。またフィルム黒化度を $D$ とし、最小の識別可能なフィルム黒化度の変化分を $\Delta D$ とすると欠陥による透過γ線強度変化 $\Delta I$ との間には、 $\Delta D / D \approx \Delta I / I$ なる関係があるため、

$$\Delta D / D = e^{-\mu \Delta t} - 1$$

となる。通常 $D = 2.0$ ,  $\Delta D = 0.02$ であるから、検査可能な最小欠陥厚み $\Delta t_{min}$ は、約0.4mmとなる。これは板厚に因らず一定であるので、欠陥識別度は厚くなるほどよいことになる。

### 現実の欠陥識別度

ベータートロンから発生するγ線の角度分布については、Schiffによって与えられている。<sup>1)</sup> これによれば20 MeVベータートロンの場合、前方15°方向で約10%、90°方向で約1%程度の漏洩線量がある。これが周囲の壁あるいは床で散乱され、バックグラウンドとしてフィルムを黒化し、欠陥識別度を低下させる。いまフィルムを黒化させるγ線強度が、被検査物体を通過したγ線強度の $B$ 倍であるとする、欠陥識別度に寄与するγ線強度とフィルム黒化度との関係は

$$\Delta I_e / I_e = B \cdot \Delta D / D \quad \text{ここで } B: \text{Buildup Factor}$$

となり、このときの識別可能な最小欠陥厚み $\Delta t_e$ は

$$e^{-\mu \Delta t_e} = B \cdot \Delta D / D + 1$$

で与えられる。このことから、欠陥識別度は散乱γ線により約 $B$ 倍低下することがわかる。

被検査物体の厚みが増加すれば、直接透過γ線は急激に減少するが、散乱γ線は板厚に因らず一定であるので、 $B$ の値は板厚の増加で急激に増加する。 $B$ の値の計算には後方散乱の角度を用いるが、これについてはJaeger等によって種々の条件についてまとめられている。<sup>2)</sup>

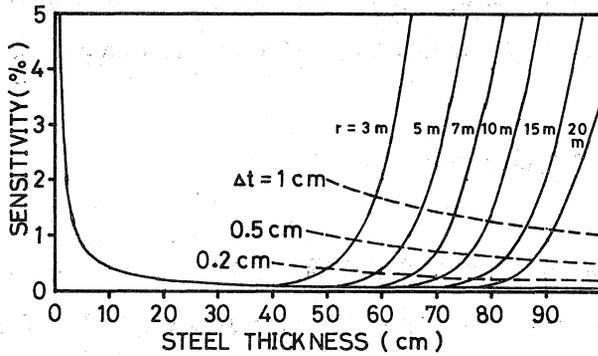
これを用いて、周囲の壁や床によるBuildup Factorを求め、それによる欠陥識別度の低下を計算した。このときの条件としては、ベータートロンのエネルギーを20 MeV、照射野に対する被検査

物体の拡がりも土5とし、線源の拡がりはないものとした。又、被検査物体内部での Buildup Factor はこの計算では無視している。

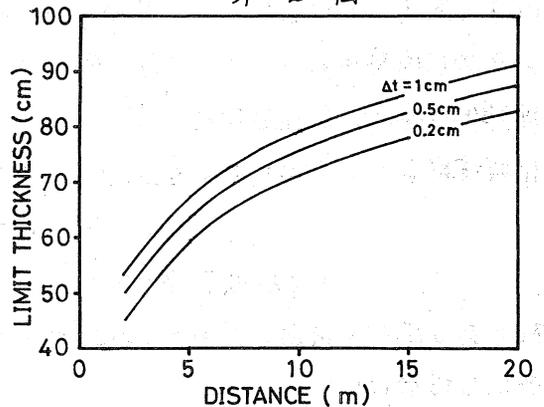
まず照射方向にある前方の壁からの散乱線による欠陥識別度の低下を第1図に示す。図中にある  $r$  は資料と壁との間の距離を示す。最小識別可能欠陥厚み  $\Delta t$  をパラメータとし  $r$  点線との交点からそのときの限界板厚を与える。これより  $\Delta t$  をパラメータとし、被検査物体と壁までの距離と限界板厚との関係を第2図に示す。

横方向の壁又は床からの散乱線の影響についても同様に求め、それ等を第3図、第4図に示す。

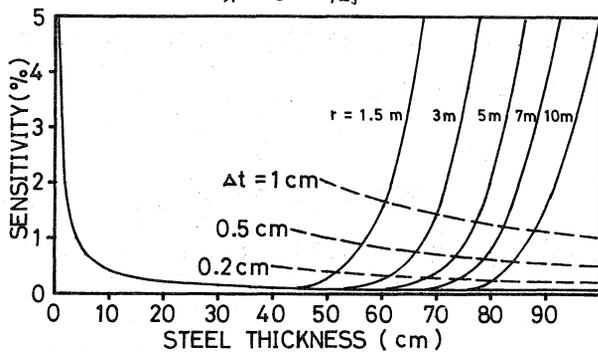
第1図



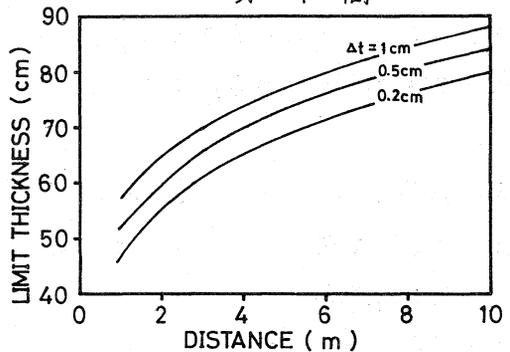
第2図



第3図



第4図



以上の結果については、周囲の壁からの散乱線だけを考えた場合であるが、実際には被検査物体内部での Buildup 効果、線源の大きさ等による像のぼけの影響があり、限界板厚は更にこれより小さくなる。

通常、照射は床から 1 ~ 1.5 m 位で行われるので、第4図にあるように、床からの散乱線が限界板厚に最も大きく影響する。又、現在の加速器の強度はすでに検査限界近くにあることかわかるが、その改善策としては次のことが考えられる。

- (1) 部屋を大きくし、床から充分の高さをとる。
- (2) フィルムの背後をシールドする。
- (3) 検査に不必要な漏洩線量を下げる。

(1) および (3) については、経済上、物理上の理由で実現し難いが、(2) については被検査物体の形状によっては可能である。

参考文献 1) L. I. Schiff, Phys. Rev. 20, 87 (1946)

2) R. G. Jaeger, et al., "Engineering Compendium on Radiation Shielding, Vol. I", Springer-Verlag, Berlin (1968)