

I-2 R.I.を利用した浮遊土砂含有度測定器について

京都大学工学部 正員 石原藤次郎, 同左 正員 岩井重久
同上 正員 合田 健, 同左 正員 筒井天尊
○ 北海道大学工学部 正員 神山桂一, 京都大学 正員 奥野長晴

放射性同位元素 (R.I.と略す) からの放射線を, 溶液や汚泥の濃度の測定に利用しようとする研究は各方面で行われ, 一部成功しているものもある。ここでは主として河川浮遊土砂量を現地において迅速, 簡便に, しかも相当の精度をもって測定できる水中土砂含有度測定器の製作を目標として, その精度ならびに測定の限界などにつき研究を行った結果を報告する。本研究で得られた結果はほとんどそのまま他の濃度計, 浊度計に対しても適用できると思われる。

(1) 放射線源としての条件 : 測定原理としては, 水中を透過する放射線が浮遊土砂量に応じて吸収されることを利用した。R.I.からの放射線のうちで, β 線と α 線は透過力が弱いために使用できない。中性子線は測定, 遮蔽, 取扱などの点から考慮外とし, γ 線を用いることにした。

含有土砂量の異った二液をそれぞれ透過した γ 線の計数値 I_1 および I_2 ($I_1 > I_2$ とする) によって含有度の差を判別するには, $I_1 - I_2 > \sqrt{I_1} + \sqrt{I_2}$ なる関係を満たせば充分と思われる。この不等式の右辺を $\sqrt{2I_1}$ とすれば判別は一層容易になる。この関係を変形すれば次式となる。

$$\frac{\mu_{I_2}}{\mu_{I_1}} > 1 + \frac{\log(1 - \sqrt{2/I_1})}{\log(I_1/I_0)} \quad (1)$$

ここで I_0 は液を透過しないときの計数値, μ_{I_1} および μ_{I_2} はそれぞれの液の線吸収係数である。式(1)から, 放射線源としてはできるだけ強いものを用いて計数値を大きくとることが望ましいことがわかる。

吸収係数は含有する物質および γ 線のエネルギーによって異なる。懸濁液 (あるいは溶液) の質量吸収係数は次のように表わされる。

$$\mu_{mx} = \mu_{ms}x + \mu_{mw}(1-x) \quad (2)$$

ここに x は含有度, μ_{mx} , μ_{ms} , μ_{mw} はそれぞれ含有度 x の液の, 含有物質自身の, 水の質量吸収係数である。濃度変化および $4 \sim 20^\circ\text{C}$ の水温変化による密度差を無視すれば, ほぼ次の関係をうる。

$$\mu_{mx} = \Delta\mu_m x + \mu_{mw} \quad (3)$$

ここに $\Delta\mu_m = \mu_{ms} - \mu_{mw}$ である。この式(3)および式(1)から考えると, 水の吸収係数に比較して土砂の吸収係数が相当に大きい場合には, 低い含有度まで測定できることになる。土砂の吸収係数に関してはまだ詳細な資料が得られていない。そこで粘土の主要成分の一つである Al の吸収係数を用いて考察を進めた。その結果 0.07 Mev 以下のエネルギーをもつ γ 線を利用することが有利であることがわかった。このような γ 線を単独に放出し, しかも長い半減期をもつ R.I. は現在のところ入手困難 (高価) であるために, 他の方法によらなければならない。

(2) 制動輻射の利用 : β 線による制動輻射を利用する研究が近時盛んになりつつあるが, Lévêque 氏等は β 線源の種類, ターゲットに用いる金属とその厚さと, 発生する γ 線のエネルギーの關係について発表している。これを参考とし, β 線源としては $Sr-90$ を, ターゲットとしては Al 板 (950 mg/cm^2) を使用して透過型ターゲットを作り, はほぼ 67 keV のところにピークを有する γ 線を得ることができ, これを用いて実験を行った。

(3) 測定の精度および誤差を最小とする水深 : 測定値の統計的動揺によっておこる誤差は, 確率誤差の3倍以内と考えてよいから, 統計的な誤差を ΔX とし 相対誤差として考えると,

$$\left(\frac{\Delta X}{X}\right)_s = \frac{\sqrt{e^{\mu_m t}}}{\sqrt{I_0}} \frac{2}{\Delta \mu_m t X} e^{-\frac{2}{\Delta \mu_m t X}} \quad (4)$$

となる。ここで t は γ 線の透過した水の厚さ (実験では下方から垂直上方に γ 線を透過したので水深) である。ある含有度 X においてこの統計的誤差を最小にするためには, 式(4)をもて微分することにより, $t = 8/\mu_m X$ であることが必要になる。5000 ppm の Al 溶液の場合には $\mu_{5000\text{ppm}} = 0.20597$ となり, $t = 38.8\text{ cm}$ が最適となる。この程度の濃度まではほぼ $t = 39\text{ cm}$ とすればよい。相対誤差を或値以下におさえたいときは, 式(4)から必要な γ 線強度 I_0 を求めることもできる。

(4) 測定の限界 : 式(1)の μ_1 と μ_2 の關係から含有度を区別できる最低限界を求めることもできる。さらに t をある値としたときに判別しうる線吸収係数の差 $\Delta \mu_e$ は, 計数値に生ずる各種の誤差が1%以下であるとしたときに, $I_1 - I_2 > I_1/100$ を変形することによって次のようになる。

$$\Delta \mu_e > \frac{0.0100}{t} \quad (5)$$

この關係と式(3)から測定可能な最低含有度を求めることができる。67 keV の γ 線に対しては 0 ppm と 1300 ppm の判別が限界となり, $Cs-137$ や $Co-60$ の γ 線を使用する場合には, かなり多量に含有する場合にのみ判別できることがわかった。

結語 : 以上の理論的考察とともに $Co-60$, $Cs-137$, $Ce-144$, ($Sr-90 + Al$) の制動輻射線源を用いて実際に測定実験を行い, 予期した結果をえたが, 結論としては現在のところ R. I. を用いて 1000 ppm 以下の含有度を判別することは困難であるが, 低エネルギーの γ 線源が容易に入手しううようになればさらに期待がもたれるであらう。今後の問題としては, 制動輻射を利用する場合には連続スペクトルをもつ γ 線中から, 希望のエネルギーのみを選択測定できる (channel width の狭い) 優秀な計測器の発達が望まれること, 連続観測を可能とするためには, 現在の Rate Meter 方式の計数率計をさらに感度精度とも改良することが望まれる。また今一つの問題としては, 河川浮遊土砂もその成分を考えると決して単純なものではなく, また高汚濁時には河水中に溶存している物質の濃度も影響してくると思われる。こうした問題を解決したうえではじめて目的とした浮遊土砂含有度の測定器の製作が可能となるであらう。

最後に本研究は昭和31, 32年度に建設省より技術研究補助金の交付をうけて行ったものであり, 關係方面に感謝するとともに, 実験に協力していただいた現日建設工務 K.K. 手島聖二君に感謝する。