

CDVP を用いた高濁度層における懸濁粒子濃度分布の測定

広島大学 学生会員 ○稲田景

広島大学 正会員 川西澄

1. 背景と目的

懸濁粒子の動態を解明することは海域や河川の環境保全を行う上で重要であり、近年では ADP（超音波音響ドップラー流速分布計）を用いて、懸濁粒子の挙動把握を試みる研究がさかに行われている。しかし、洪水時や出水期等で懸濁粒子濃度が高くなると、粒子の散乱による減衰の影響が多くなり、散乱強度が正確に測定できない可能性があるとされている。粒子の散乱による散乱強度の減衰の影響については、様々な要因があるため、不明な点が多い。従って本研究では、従来用いられている流速分布計である ADP よりも、散乱強度分布を高分解能で測定することができる CDVP（高解像度音響ドップラー流速分布計）を用いて、粒子の散乱による散乱強度の補正を行い高濃度状態での粒子濃度分布を求めることを目的としている。

2. 散乱強度補正法及び濃度算出法

本研究では、Tae Hwan Lee ら(1995)¹⁾ が提案した direct inversion method という手法を用いて濃度分布を求める。従来の方法では繰り返し計算が必要であるが、この手法は繰り返し計算を行う必要がなく、計算時間が短いので実用化できると大変便利な手法である。

$$C_q = \frac{G_q}{(G_i/C_i) - 2\alpha_s \sum_{q=i+1}^Q (G_q - G_{q-1})(r_q - r_{q-1})} \quad (1)$$

$$G_q = I(r) \phi_q^2 \exp(4\alpha_w r_q) \quad C_q = C(r_q)$$

ここで、 C は濃度(mg/l)、 r はトランスデューサーからの距離(m)、 I は散乱強度、 α_s は粒子の散乱による減衰係数(dB/m)、 α_w は水の吸収係数(dB/m)、 ϕ は nearfield の補正関数である。 α_w は水の密度・粘性による減衰係数で、Fisher and Simon ら(1977)によって次のように定義されている。

$$\alpha_w = (55.9 - 2.37T + 47.7 \times 10^{-2} T^2 - 3.84 \times 10^{-4} T^3) \times 10^{-3} f^2 \quad (2)$$

T は水温(°C)、 f は周波数(MHz)である。また、 α_s については、Sheng and Hay ら(1988)によって次のように定義されている。

$$\alpha_s = (1/\rho a_s) \{0.18(ka_s)^4 / [1 + (ka_s)^2 + (\frac{4}{3})] - 0.18(ka_s)^4\} \quad (3)$$

ρ は水の密度、 a_s は粒子の半径である。今回は(1)式の実用性を調べる為、(2)、(3)式は用いずに α_w 、 α_s は(1)式を用いて最小二乗法によって求めた。また、トランスデューサー近傍の nearfield では、音波の拡散が複雑で、補正する必要がある。Dowing ら(1995)によって提案された nearfield の補正式を(3)式に示す。

$$\phi = \frac{1 + 1.35z + (2.5z)^{3/2}}{1.35z + (2.5z)^{3/2}} \quad z = r/r_0 \quad (4)$$

r_0 は機器によって決まる nearfield の距離である。今回の実験で用いた水槽の高さ、即ち音波の測定範囲は、nearfield の範囲であったので、(4)式によって散乱強度の補正を行った。

実験によって、散乱強度の測定と SS の測定を行い、散乱強度の補正と濃度分布の推定を行った。

3. 実験方法

実験では、Fig.1 に示すような縦型の水槽の中に CDVP を設置して、散乱強度分布を測定した。投入するカオリンの量を変えて、水槽内の粒子濃度を変化させながら散乱強度分布を測定した。カオリンを投入した後はよく攪拌し、水槽内の濃度をほぼ一様な状態とした。また、散乱強度を測定した後、採水して SS 測定を行った。実験における濃度は、10mg/l～1100mg/l の 6 種類で行った。

4. 結果

実測濃度と水・粒子による超音波の減衰を考慮した濃度の補正結果を Fig.2 に示す。縦軸が濃度、横軸がトランスデューサーからの距離を表している。Fig.2 は平均濃度 825.6(mg/l)の時の濃度分布であるが、この他に 100~1100(mg/l)までの計 5 種類の濃度分布の補正を行った。なお、 $\alpha_w=0.7(\text{dB/m})$ とした。破線で表されている補正なしの濃度分布は距離とともに減衰しており、実測値と大きな差がある。また、細線で表されている水の吸収による減衰のみ考慮した結果、即ち $\alpha_w=0.7(\text{dB/m})$ 、 $\alpha_s=0$ とした時より、太線で表されている α_w 、 α_s 共に考慮して補正している濃度分布の方が、より実測値に近い値となっている。また、濃度が高くなるにつれて太線と細線の差が大きくなっていた。このことから、濃度が高くなると粒子の散乱による減衰が大きく効いてくることが分かる。また、Fig3 に補正係数 α_s と濃度の関係を示した。この図より、実験値と理論値の比較を行ったところ、実験値の平均は $\alpha_s=3.85 \times 10^{-6}$ 、理論値は $\alpha_s=5.85 \times 10^{-9}(\text{dB/m})$ となった。なお、 α_s を求める際には明らかにおかしい値を示している二点(97.2(mg/l), 544.7(mg/l)での値)を除いて行った。この実験値 α_s を用いて、(3)式からその時の粒径を求めると、46.7(μm)であった。実験に用いたカオリンの中央粒径が 7.02(μm)であるので、実験の攪拌の際に、粒子が固まったり、フロック化して大きくなっていたりしたものがあつたと考えられる。しかしながら、補正係数の実験値と理論値のずれについては今後、現地への適用を考える上ではさらに検討する必要がある。

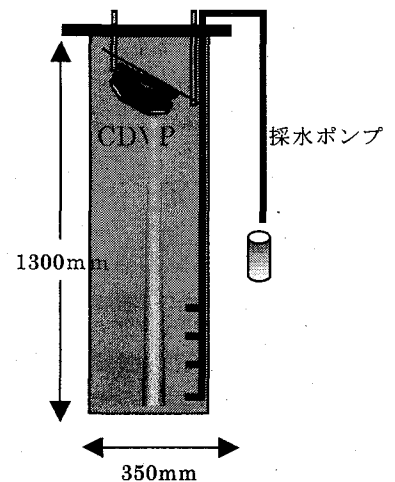


Fig.1 実験概要

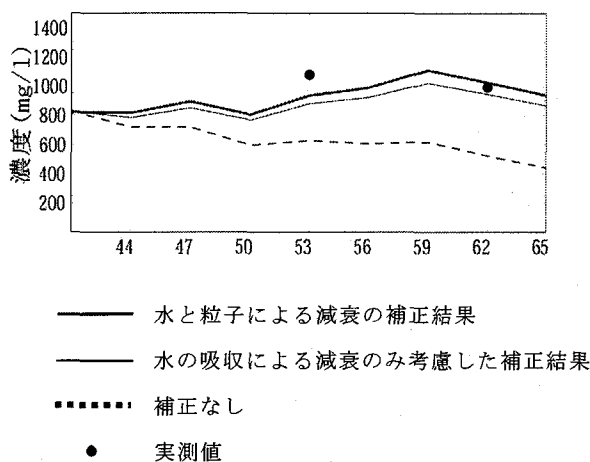


Fig.2 濃度補正前と補正後の比較

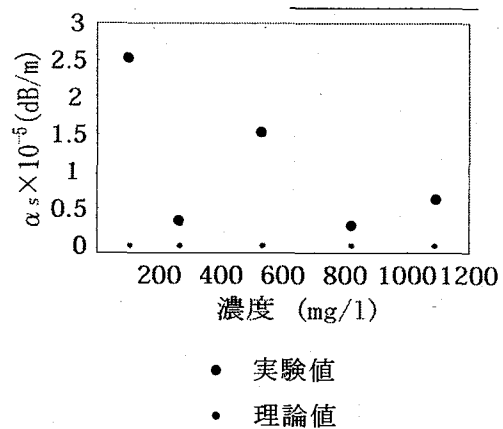


Fig.3 α_s の実験値と理論値の比較

5. 結論及び考察

- 1) 音響ドップラー流速分布計によって測定される散乱強度は、粒子濃度と相関があるが、粒子濃度が約 100(mg/l)より高くなると、超音波の散乱による散乱強度の減衰が無視できなくなり、補正が必要であることが分かった。
- 2) 本研究で用いた手法により、高濃度状態での散乱強度の補正を行い、実測値に近い濃度分布を求めることができた。
- 3) 今後は、現地への適用が考えられる。その為に様々な種類の粒子を使って実験をするなどして、補正方法をさらに検討する必要がある。

参考文献

- 1) Tae Hwan Lee and Daniel M. Hanes: Direct inversion method to measure the concentration profile of suspended particles using backscattered sound, Journal of Geophysical Research, Vol.100, No.C2, p2649-2657, 1995