

差圧測定による浮遊砂濃度計測に関する研究

京都大学大学院工学研究科 正会員 角 哲也
 横河電機(株)フィールド開発営業部長 正会員 森田佐一郎
 横河電子機器(株)防災機器 Gr 技術顧問 越智 隆志
 横河電機(株)フィールド開発営業部技術顧問 小宮 秀昭

1. はじめに

河川やダム貯水池における浮遊砂濃度の観測には、一般に濁度計による連続観測とボトル採水が併用されているが、濁度計は光学的手法であることから長期安定性や高濃度測定に課題があり、一方、ボトル採水は、手間がかかる上に小流域では短時間で到達する洪水ピークを逃さずに採水を行うことが難しいのが現状である。そこで浮遊砂濃度の新しい計測法として、差圧計によって流体中の密度を直接測定する手法を開発した。この手法は、連続測定が可能で、差圧計測による流体密度の直接測定により、高濃度計測が可能であることを特徴としている。ここでは、試作機による室内実験および実際のダム貯水池を対象としたフィールド試験結果について報告する。

2. 測定原理及び計測システム構成

流水中に浮遊砂が含まれると清水に対して密度が変化する。そこで、図1のように間隔Hを一定に保った2つの固定基準点を設け、これらの圧力(P_H : 高圧側、 P_L : 低圧側)を測定し密度を求める。いま、流体の平均密度を ρ とすれば、次式により平均密度 ρ およびSS濃度が求められる。

$$P_H - P_L = \rho g H \quad (1)$$

$$P_H - P_L = \rho g H \quad (2)$$

例えば、SS=10,000mg/lの水とSS=0mg/lの水の密度差は、仮に固定基準点を1,000mm とすると、発生する圧力差は約10mm H₂Oであり微圧力の検出となる。一般に、このような微差圧を高精度で検出するのは難しいが、本システムではシリコン振動式のセンサーを用いることでこれを可能とした。これは、シリコン半導体プロセス技術を応用してシリコンの単結晶ダイアフラムに2つの振動子を形成し、ダイアフラム上の真空室に設置したものである。圧力差入力によりダイアフラムが弾性変形して振動子に歪が発生し、共振周波数が変化することにより圧力差を検出するもので、高い精度と安定性を有する工業用計測器として広く使用されている。全体のシステム構成を図2に示すが、2つの圧力検出部から圧力センサーまでの間は細管で接続し、水を封じ込めて流体からの圧力をセンサーに導いている。

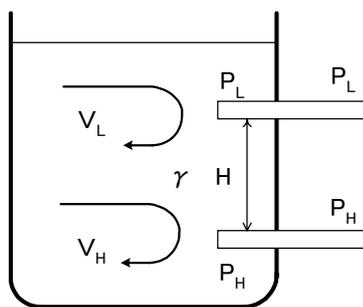


図-1 測定原理

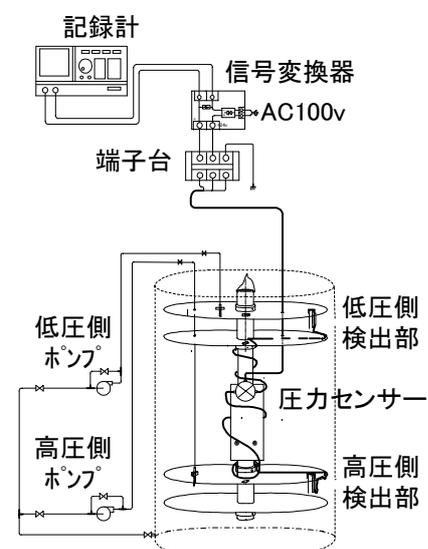


図-2 システム構成図(室内実験用)

一方、計測環境は静水状態ばかりではなく、一般には流れによる影響も考慮する必要がある。いま、図1に示すように高圧側、低圧側の流速をそれぞれ V_H, V_L とすれば、それぞれに加わる動圧を考慮した(3)式が導かれる。

$$P_H - P_L = \rho g H + \rho (V_H^2/2g - V_L^2/2g) = \rho g H + \rho (V_H^2 - V_L^2)/2g \quad (3)$$

ここで V_H, V_L とすれば(3)式の第2項が誤差項となり、これを出来るだけ小さくすることが必要になる。そこで、2つの圧力検出部に整流装置を取り付けることにより、圧力検出部に加わる流れを層流にして流れによる影響を出来るだけ少なくする工夫をした。なお、実際にフィールドで計測する場合には、洪水時に河川を流下する流木や砂礫などの各種障害物からセンサー部を保護することが必要である。そこで、この場合は窓の開いた円筒形シェルをシステム全体に被せることとし、また、これにより2つの検出口における作用流速もほぼ均等化することができる。

キーワード：浮遊砂濃度, SS, 差圧計測, 美和ダム

連絡先：〒606-8501 京都市左京区吉田本町 075-753-4751 (FAX: 075-753-4794)

3. 室内実験

本システムの試作機（図2）を製作し、水を満たした透明の円筒形容器（直径 53cm×高さ 165cm）に入れて室内実験を行った。SS 調整はカオリン投入により行い、また容器内の水はポンプで循環させて流れの影響を確認した。また、圧力センサーの感度で決定される濃度レンジは、SS 濃度 1,000mg/l 以上を対象とする高濃度型とした。

ここで、濃度 と密度 は(4)、(5)式であらわされる。

$$= V_s \rho_s / (V_w + V_s) \tag{4}$$

$$= (V_w \rho_w + V_s \rho_s) / (V_w + V_s) \tag{5}$$

ここに、 V_w 、 V_s ：水及びカオリンの体積、 ρ_w 、 ρ_s ：水及びカオリンの密度である。

次に $\rho_w = 1$ 、 $V_w = V_s$ とすると、(4)、(5)式は次のように置き換えられ、濃度は密度変化にほぼ比例する。

$$V_s \rho_s / V_w \tag{6}$$

$$1 + V_s \rho_s / V_w = 1 + \tag{7}$$

計測結果を図3に示す。ここで計算値とは、カオリン投入量から（密度 = 濃度 + 1）と仮定して求められる圧力差検出器の出力値を計算により求めたものである。投入したカオリン投入量に対してほぼ良好な相関関係が得られており、本システムにより SS 濃度が測定可能なことが明らかとなった。なお、この場合の計測精度は最大で 15%程度である。また、濃度ゼロにおいて、流れを $V_H=0.58\text{m/s}$ 、 $V_L=0.11\text{m/s}$ と偏らせた場合には動圧の影響が約 6%あることがわかった。

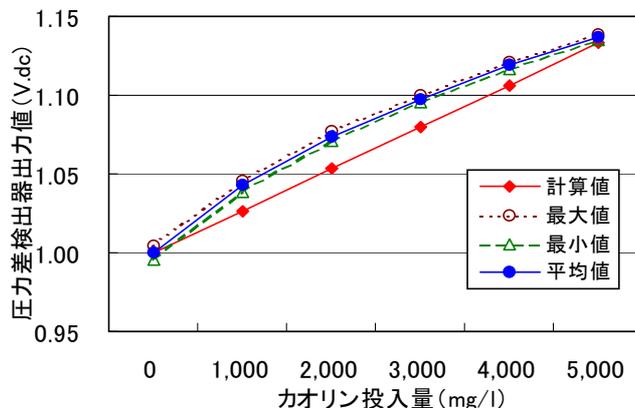


図-3 室内実験結果

4. フィールド試験

本システムを用いて、天竜川水系美和ダム貯水池中流部の横断橋付近においてフィールド試験を行った。写真1に示すように、本体は湖面に浮かべる浮体から吊り下げる構造とし、浮体をワイヤーで橋脚に固定した。計測水深は、本体中心で水面下約 2 mである。平成 12 年 8~10 月にかけて浮遊砂濃度の連続観測を行ったが、東海豪雨と同じ 9 月 12 日に中規模の出水が発生した。

図4に各時刻の圧力差検出器の出力値と SS 濃度換算値を、ダム流入量・放流量と併せて示す。これによれば、流入量のピークから少し遅れた 13 時頃に SS 濃度が急激に上昇し、21 時頃までの間に平均濃度 1,000mg/l 前後の高濃度の水が計測器付近を通過した事がわかる。



写真-1 計測システム概観

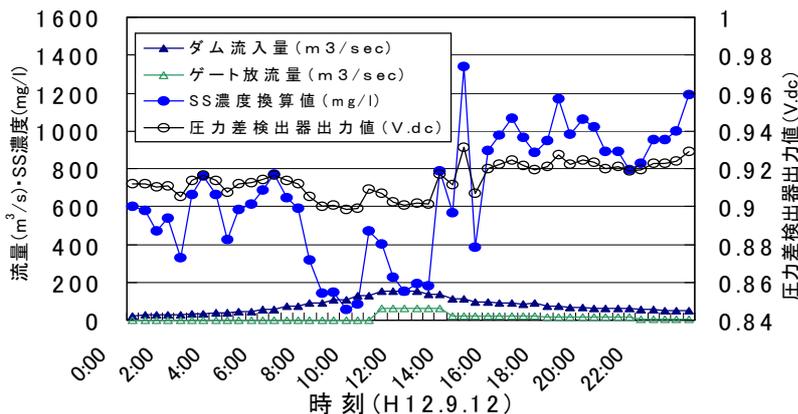


図-4 フィールド試験結果

5. おわりに

浮遊砂濃度を連続して測定するシステムを試作して室内実験及びフィールド試験を行い、本計測システムにより SS 濃度が測定可能なことが明らかとなった。美和ダムにおける連続観測は現在も継続しており、温度変化による影響や維持管理面での課題などについてデータ収集を行っている。また、本システムは圧力センサーの感度を変えることにより 500mg/l 程度以上の中濃度型あるいは 50mg/l 程度以上の低濃度型システムとすることも可能であり、他の計測場所での適用性も今後検討する予定である。今回の現地調査に関し、国土交通省中部地方整備局三峰川総合開発工事事務所及び美和ダム管理所の協力を得た。ここに記して謝意を表す。