

画像による水位計測技術

高木陽市*、米丘孝幸*、森英雄**、斉藤健***、辻川秋雄****

*日立プロセスコンピュータエンジニアリング(株)

茨城県日立市大みか町5丁目2番1号

** 山梨大学電気電子工学部教授 工学博士

山梨県甲府市武田4-3-11

*** (株)日立製作所 社会システム事業部

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番

**** (株)日立製作所 情報制御システム事業部

社会システム設計部

茨城県日立市大みか町5丁目2番1号

概要

従来の河川等の水位計測はフロート式や圧力式の水位計が実用されていたが、計測装置の精密機器類が直接流水に接するために、維持管理の容易な非接触式の水位計の開発が強く要望され、画像による水位計測技術が注目されるようになった。最近、傾斜板画像を画像処理する水位計測が、ダムや河川の水位計測に実用されるようになってきた。我が国の主要な河川流域には、光ネットワークが敷設され監視カメラが多数設置されてきており、画像による水位計測は、これら既設の監視カメラの有効活用として、特に、注目されるようになってきた。本稿では、和歌山県二川ダム管理事務所に納入したダム湖の水位計測システムについて報告する。

キーワード

画像処理、水位計測、傾斜板

1. はじめに

我が国は台風や集中豪雨による水害や水不足が発生しやすい地形や気象条件をしており、建設省は国内の主要河川における水位・流量等の水文データを長期にわたり収集している。又、ダム湖等では貯水量を管理するために水位計測値を利用して水位計測は重要視されている。従来、水位計測は目視で行っていたが、最近、フロート式や圧力式の自動計測が行われるようになってきた。いずれの方式も機器類が、流水に接するために、維持管理に問題があった。画像による水位計測方法は、機器類がすべて陸上設置であり、洪水や台風等に強い非接触式の計測方法として、現場からは早くから待望されていたが、透明性や表面反射等の水の持つ特性が障害となり画像による水位計測の実用化された事例はほとんど見かけなかった。筆者等は1996年度EICA環境システム計測制御学会誌に水中に設置した傾斜板の画像が水面境界部で屈曲点を持つという光学的な現象を利用して水面検知を行う水位計測方法を報告した¹⁾。更に、1997年に英国ブライトンで開催されたIAWQ ICA 7回ワークショップでの講演³⁾、及びWater and Science Technology誌論文発表した²⁾。筆者等は傾斜板画像の幾何学的・光学的な解析を行った⁶⁾。その結果、水面境界を画像により安定的に検知するには傾斜板が必須であった。最近、和歌山県二川ダム管理所に傾斜板の画像を解析して水位を計測するシステムを納入したので以下その概要を報告する。

2. システムの計測対象と目標性能

計測対象と計測目標値は以下のとおりである。

- ・計測対象 ダム湖の傾斜板と量水標
- ・計測範囲 0～2.5 m
- ・計測精度 ±1 cm
- ・運用時間 24時間連続
- ・水位検出時間 約2秒毎にカメラ画像を取り込み水位を計測する

3. 水位計測方法

3.1 水位検出方法

水が基本的に透明であるという特性から量水標やコンクリート壁の水面境界部のコントラストは極めて小さく、環境条件がよい場合でも周辺のノイズとの識別が難しい。たとえ検知できる画像アルゴリズムを開発したとしても、霧や小雨等の少しの気象条件の悪化により検知ができなくなるという問題が発生する。画像による水位計測はロバスト（気象の変化に影響されたいくましい）な機能が要求されるのである。そのため本水位計測システムでは、水中の傾斜板の水面境界部の画像が水面付近で屈曲点を持つという光学的な現象を利用して水面を画像解析により求める方式を採用した^{4,5)}。図1に今回採用した計測対象物の写真を示す。この場合には、傾斜板と背景とのコントラストが大きく、年間を通じて滅多に発生しない100mm/時の降雨や視程500m程度の霧の発生に対しても通常どおりに水位を計測できる。図2は水面付近の傾斜板画像の構成を示す。傾斜板の実像A部と反射象R部は「く」の字に見える。屈折像D部はsnellの法則により水面境界部で屈曲する。波浪のある場合には反射像や屈折像は散乱されて傾斜板の実像のみが明瞭に見える。傾斜板画像を解析する方式では波浪の有無にかかわらず水面境界部には屈曲部が必ず存在し水面境界を容易に検知できる。

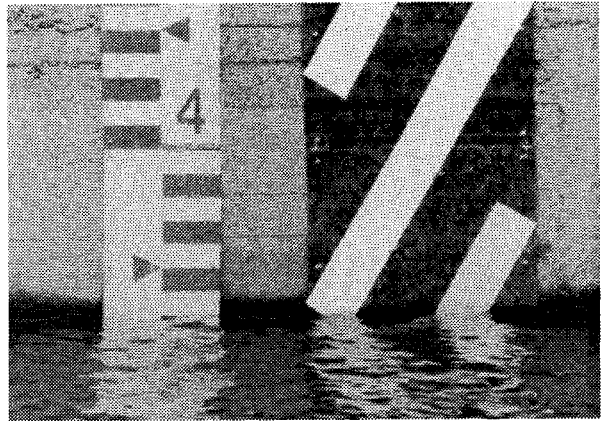


図1 計測対象物の写真

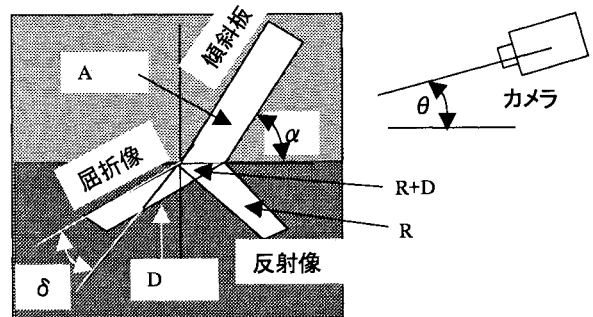


図2 傾斜板とカメラの取付関係

3.2 システム構成と概略機能

システム構成図を図3に示す。本システムはカメラをダム湖監視と水位計測に共用する構成とした。カメラは監視カメラの要求仕様にあわせた。ダム湖上流側の湖底付近では夜間照明なしでは水面検知が困難であった。夜間のみ白熱灯を点灯させることとした。水位計測範囲である高さ2.5mの範囲を計測するためにカメラ向きを水位に合わせて制御する方式とした。画像処理装置にカメラ画像を取り込み画像解析により水位を計測した。計測結果はLANを経由してサーバに転送しデータベースに記録した。LANに接続した任意のパソコンから計測結果を参照できるようにした。

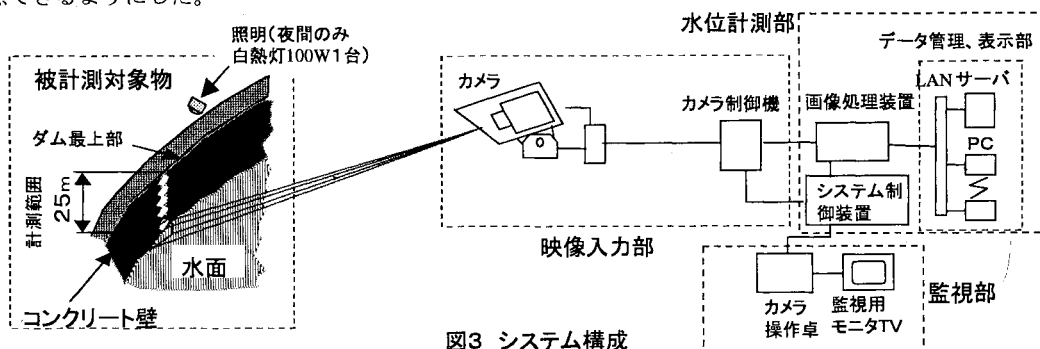


図3 システム構成

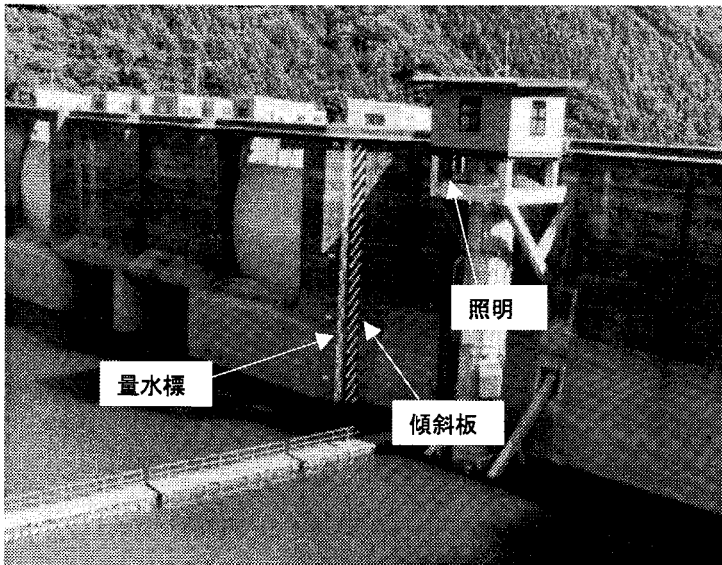


図4 計測対象物の設置写真

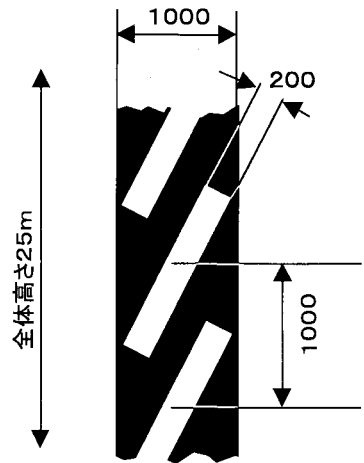


図5 多段式傾斜板の詳細

3.3 計測対象物

計測対象物（量水標と傾斜板）の設置状態を示す写真を図4に示す。量水標は目視用の既設設備を流用した。傾斜板は図5に示すような寸法形状のものを新規設置した。

3.4 映像入力部

映像入力部は、カメラ、レンズ、雲台、カメラ制御装置等から構成されている。概略仕様を以下に示す。

- 1) カメラ 蓄積型高感度カメラ
被写体照度 蓄積モード時、0.002 lx
撮像素子 1/2型個体撮像素子
- 2) レンズ 電動ズームレンズ
焦点距離 12～240mm
- 3) 雲台 電動雲台

3.5 カメラ視野サイズ

カメラシーンサイズと解像度（1画素の大きさ）の関係をグラフで示すと図6のようなになる。今回は、インターレース仕様で1シーン480ラインであり、要求解像度を10mm/画素とするとシーンサイズ（高さ）を4.8m以下とする必要があり4mとした。

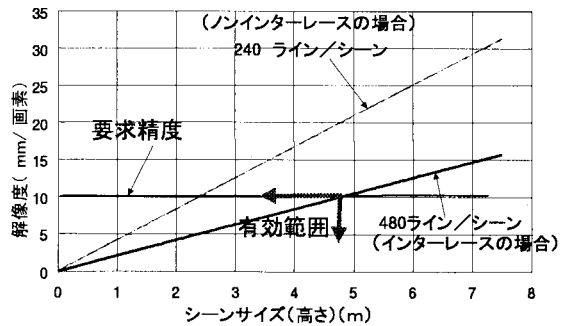


図6. カメラ視野サイズと画像の解像度

3.6 水位変動とカメラ向きの制御

水位変動に伴ってカメラ向きを制御することにより25mの水位計測範囲を1台のカメラで計測した。

3.7 照明

白熱灯 100W1台

3.8 画像上で得られた水面位置を量水標の基準の水位に変換

カメラ画像の解析により得られた水面位置を量水標の基準目盛を使用して世界座標系の水位に変換した。

3.9 移動平均水位の計算

水面の波の影響を除くために次式により移動平均値を計算し計測値とした。

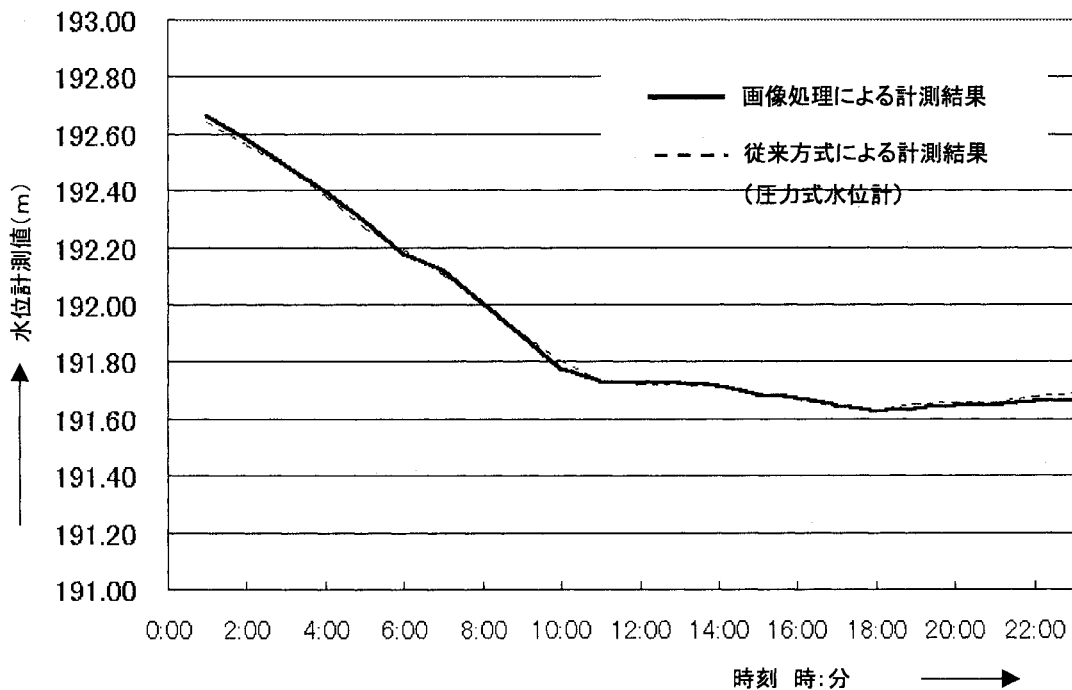


図7 水位計測結果比較

$$\text{移動平均水位} = \frac{\sum_{t_1}^{t_2} M(t)}{n}$$

ここに $M(t)$: 時刻 t における計測水位、 t_1 : 移動平均開始時刻
 t_2 : 移動平均終了時刻、 n : 時刻 $t_1 \sim t_2$ 間の水位計測データの数
 計算時刻の範囲 $t_1 \sim t_2$ は2分間とした。

4. おわりに

傾斜板の画像を解析して水位を計測する技術をダム湖に適用した。従来の水位計との計測結果の比較を行った。図7に示すように両計測結果が大差ないことを確認した(差の標準偏差約 ± 1 cm)。夜間のみ100ワット程度の白熱灯を追加し昼夜連続計測可能であった。カメラは監視カメラを流用し、通常時は水位計測に使用し、緊急時には、切り替えて監視用に使用する方式とした。これにより監視カメラの有効活用が可能となった。

参考文献

- (1) 高木,他:画像処理を用いた非接触式の液面高さ計測装置の開発、学会誌「EICA」、第1巻第2号、1996、pp 190-193
- (2) Takagi, etc : Development of a non-contact liquid level measuring system using image processing, Wat. Sci.Tech. Vol.37, No.12, pp.381-387, 1998. IAWQ
- (3) Takagi, etc : Development of a non-contact liquid level measuring system using image processing, 7th international workshop (IAWQ specialist group on instrumentation, control and automation), 1997, Brighton, UK, Session 8 Math-modeling
- (4) 特許 第2933158号
- (5) 特許 第2964872号
- (6) 高木,他:水位計測に使用される傾斜板水面境界部特徴の幾何学的・光学的理論解析、学会誌「EICA」、第4巻第4号、2000、pp 9-18